ISSN 2312-2676

ПДАБА
ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ВІСНИК

ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

BULLETIN

OF PRYDNIPROVS'KA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

№ 10 ЖОВТЕНЬ 2015 РОКУ

ДНІПРОПЕТРОВСЬК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

ВІСНИК

ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Заснований у травні 1997 року

№ 10 (211)
жовтень 2015

Дніпропетровськ 2015

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 постановою Президії ВАК України від 01.07.2010 р. за № 1-05/5
Свідоцтво про Державну реєстрацію	друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 9702 – видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України 24 березня 2005 р.
Засновник та видавець	Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Виходить 12 разів на рік
Рекомендовано до друку	вченою радою академії, протокол № 5 від 27.10.2015 р.
Сайт видання	http:// visnyk.pgasa.dp.ua
Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науковий журнал	*Інформаційно-аналітичні системи:* РІНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). *Електронні бібліотеки та пошукові системи:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Українські наукові журнали, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського
	Художній і технічний редактор О. А. Григоренко Перекладач Л. В. Михайлова Редактор В. Д. Маловик Коректор В. Д. Маловик.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

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

ВЕСТНИК

ПРИДНЕПРОВСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Основан в мае 1997 года

№ 10 (211)
октябрь 2015

Днепропетровск 2015

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 постановлением Президиума ВАК Украины от 01.07.2010 г. № 1-05/5
Свидетельство о государственной регистрации	печатного средства массовой информации – серия КВ № 9702 – выдано Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины 24 марта 2005 г.
Основатель и издатель	Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Выходит 12 раз в год
Рекомендовано к печати	ученым советом академии, протокол № 5 от 27.10.2015 г.
Сайт издания	http:// visnyk.pgasa.dp.ua
Наукометрические базы и электронные библиотеки, в которых зарегистрирован научный журнал	*Информационно-аналитические системы:* РИНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). *Электронные библиотеки и поисковые системы:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Украинские научные журналы, Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского
	Художественный и технический редактор Е. А. Григоренко Переводчик Л. В. Михайлова Редактор В. Д. Маловик Корректор В. Д. Маловик.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

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

BULLETIN

OF PRYDNIPROVS'KA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Established in May, 1997

No. 10 (211)

October 2015

Dnipropetrovsk 2015

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 Presidium of the Higher Attestation Commission of Ukraine No.1-05/5 dated 01.07.2010
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 'Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture' Issued 12 times a year
Recommended for publication by	the Academic Board of the Academy, Minutes No. 5, 27.10.2015
Journal website	http:// visnyk.pgasa.dp.ua
Placement of the journal in the international scientometric databases and repositories	*Abstracting systems:* 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). *Electronic Libraries:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Ukrainian scientific journals, The V. I. Vernadsky National Library of Ukraine
	Art & Technical Editor O. A. Grygorenko Interpreter L. B. Mykhailova Editor V. D. Malovyk Proofreader V. D. Malovyk.

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

АРХІТЕКТУРА

В ЭТОМ НОМЕРЕ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

АРХИТЕКТУРА

IN THIS ISSUE

SCIENTIFIC RESEARCH

ARCHITECTURE

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.

А д р е с а р е д а к ц і ї :
✉ Україна, 49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24[а],
кімната 607-В (відповідальний секретар), кімната 657 (аналітичний сектор фахових видань).
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 756-34-71
e-mail: visnik_psacea@ ukr.net

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

Ответственность за достоверность информации, представленной в печатных материалах, несут авторы.
Редколлегия не всегда разделяет авторскую точку зрения.

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

Адрес редакции:
✉ Украина, 49600, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24[а],
комната 607-В (ответственный секретарь), комната 657 (аналитический сектор профессиональных изданий).
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 756-34-71
e-mail: visnik_psacea@ ukr.net

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

Authors shall be responsible for the accuracy of the information contained in the printed materials.
Editors do not always agree with the author's point of view.

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

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

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

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 621.785

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ СТАЛЬ-МОЛИБДЕНОВОГО ПОКРЫТИЯ

БОЛЬШАКОВ В. И.[1], *проф., д. т. н.,*
ГЛУШКОВА Д. Б. [2*], *доц., к. т. н.*
[1.]Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473
[2*.]Кафедра технологии металлов и материаловедения, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Петровского, 25, 61002, Харьков, Украина, тел. +38 (057) 707-37-92, e-mail: diana.glushkova ORCID ID: 0000-0001-8612-6584

Аннотация. Цель. Все чаще для решения проблемы повышения эксплуатационных характеристик материалов привлекают новые методы поверхностного упрочнения и формирования специальных свойств материалов. Из них особое место занимает газотермическое нанесение покрытий. Их используют в различных отраслях машиностроения для защиты поверхности деталей и узлов машин от абразивного износа. Кроме того эти детали и узлы в процессе работы можно неоднократно восстанавливать путем повторного нанесения покрытий, что заметно сокращает затраты на ремонт оборудования, уменьшает расход материалов на изготовление новых деталей. Целью работы было установить влияние газотермического напыления на твердость поверхностного слоя, определить связь между микротвердостью и структурным состоянием. ***Результаты.*** Значение замеров микротвердости молибдена и стали в поверхностном слое согласуются с характером структурных составляющих. Важнейшей характеристикой напыленного слоя, определяющей успешную работу покрытия, является его связь с поверхностью подложки. Скоростная кристаллизация под давлением способствует созданию мелкозернистой структуры. ***Научная новизна.*** Объяснен механизм формирования покрытия путем последовательной упаковки сильно деформирующихся частиц и образования слоистой структуры. Высокая твердость частиц молибдена в напыленном слое обусловлена рядом факторов: сверхмелким зерном, наклепом частиц и изменением их химического состава, создающим условие для упрочнения старением. Твердость стальных частиц определяется мелкодисперсными карбидами и наклепом аустенита.

Ключевые слова: ***с****таль-молибденовое покрытие, газотермическое напыление, структурное состояние, упрочнение*

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ТВЕРДОСТІ СТАЛЬ-МОЛІБДЕНОВОГО ПОКРИТТЯ

БОЛЬШАКОВ В. І. [1], *проф., д. т. н.,*
ГЛУШКОВА Д. Б. [2*], *доц., к. т. н.*
[1.]Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473
[2*.]Кафедра технології металів та матеріалознавства, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ул. Петровського, 25, 61002, Харьків, Україна, тел. +38 (057) 707-37-92, e-mail: diana.glushkova ORCID ID: 0000-0001-8612-6584

Анотація. Мета. Все частіше для вирішення проблеми підвищення експлуатаційних характеристик матеріалів залучають нові методи поверхневого зміцнення і формування спеціальних властивостей матеріалів. Особливе місце посідає газотермічне покриття. Його використовують в різних галузях машинобудування для захисту поверхні деталей і вузлів машин від абразивного зношування. Крім того ці деталі і вузли в процесі роботи можна неодноразово відновлювати шляхом повторного нанесення покриття, що помітно зменшує витрати на ремонт обладнання, знижує витрату матеріалів на виготовлення нових деталей. Метою роботи було

встановити вплив газотермічного напилення на твердість поверхневого шару, визначити зв'язок між мікротвердістю і структурним станом. ***Результати.*** Значення замірів мікротвердості молібдена і сталі в поверхневому шарі погоджуються з характером структурних складових. Важливою характеристикою напиленого шару, що визначає успішну роботу покриття, є його з'вязок з поверхнею підложки. Швидка кристалізація під тиском сприяє утворенню дрібнозернистої структури. ***Наукова новизна.*** Обґрунтовано механізм формування покриття шляхом послідовної упаковки міцно деформованих частинок і утворення багатошарової структури. Висока твердість частинок молібдена в напиленому шарі обумовлена рядом факторів: наддрібним зерном, наклепом частинок і зміною їх хімічного складу, що утворює умови для зміцнення старінням. Твердість сталевих частинок визначається дрібнодисперсними карбідами і наклепом аустеніту.

Ключові слова: *сталь-молібденове покриття, газотермічне напилення, структурний стан, зміцнення*

THE STUDY OF STRUCTURE AND HARDNESS OF STEEL-MOLIBDENUMAL COVERING

BOLSHAKOV V. I.[1], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
GLUSHKOVA D. B.[2*], *Associate Prof., Cand. Eng. Sc.*

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

[2*] Metal technology and material sciences, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 61002, Ukraine, Tel. +38 (057) 707-37-92, e-mail: diana.glushkova, ORCID ID: 0000-0001-8612-6584

Summary. Purpose. The new methods of surface hardening and creation of special materials are appealed for problem solving of the increasing of exploitation characteristic of materials. Among them a special place is gas-thermal coating. They are used in the different branches of machine-building for protection of the surface of details and machine assemblies from abrasion wearout. In addition, these parts and components during operation can be restored by repeatedly re-coating, that significantly reduces the cost of repair of equipment, reduces the consumption of materials to manufacture new details. Purpose of the work is to establish the influence of the gas-thermal spraying on the hardness of surface coating and to determine the connection between microhardness and structural state. ***The results***. The value of measurements of the microhardness of molybdenum and steel in the surface layer are consistent with character of structural components. The major characteristic of the deposited layer, determining the success work of the coating is its relationship with the substrate surface. Rapid crystallization under the pressure help to create of fine-grained structure. ***Scientific novelty***. The mechanism of formation of the coating by sequentially packaging of greatly deformed particles and the formation of the layered structure are shown. High hardness of the particles of molybdenum of sprayed layer is stipulated by several factors: the ultrafine grain, hardening particles and change of their chemical composition, being created the conditions for senescence hardening. The hardness of steel parts is determined by micro dispersive carbides and hardening of austenite.

Key words: *steel-molibdenumat coating, gas-thermal spraying, structural state, strengthening*

Введение. Развитие современной техники предъявляет все более возрастающие требования к рабочим характеристикам конструкционных материалов, к снижению металлоемкости деталей, повышению их экономичности и качества. В комплексе проблем повышения надежности и долговечности машин особое место занимает вопрос износостойкости и соответственно твердости деталей. Для решения задачи повышения эксплуатационных характеристик материалов привлекают новые методы поверхностного упрочнения, например, различные способы газотермического нанесения покрытий.

Методы газотермического напыления позволяют изготавливать детали из биметаллических материалов с целью замены дорогостоящих дефицитных материалов дешевыми.

Газотермическое напыление значительно меняет свойства напыляемых материалов. И хотя разработаны основные положения общей теории образования покрытий [1], однако эффективность каждого метода и возможность использования конкретных покрытий наряду с другими факторами в значительной степени обусловлены наличием информации об изменениях структуры и свойств данных материалов в условиях напыления.

Наиболее простые закономерности формирования структуры покрытий характерны для однокомпонентных покрытий. Для целей же повышения износостойкости, жаростойкости наиболее результативно использование многокомпонентных покрытий [2].

Очевидно, что для таких сплавов не всегда можно теоретически предсказать структуру и свойства покрытия. Поэтому требуется широкое экспериментальное изучение структуры и свойств после напыления.

Цель и задачи. На основании результатов эксперимента установить влияние газотермического напыления на твердость поверхностного слоя, установить связь между значениями микротвердости и структурным состоянием материала после напыления, объяснить механизм упрочнения, имеющий место при газотермическом напылении.

Методика исследования. В настоящей работе объектами исследования явились газотермические покрытия, нанесенные на чугун.

Покрытие на кольцо из чугуна наносили методом двухпроволочной металлизации с независимой подачей проволок молибдена и стали. Напыление из двух проволок разных материалов приводит к формированию в слое псевдосплава, созданного частицами стали 11Х18М и молибдена.

Ниже в табл. 1 приведен режим напыления.

Таблица 1

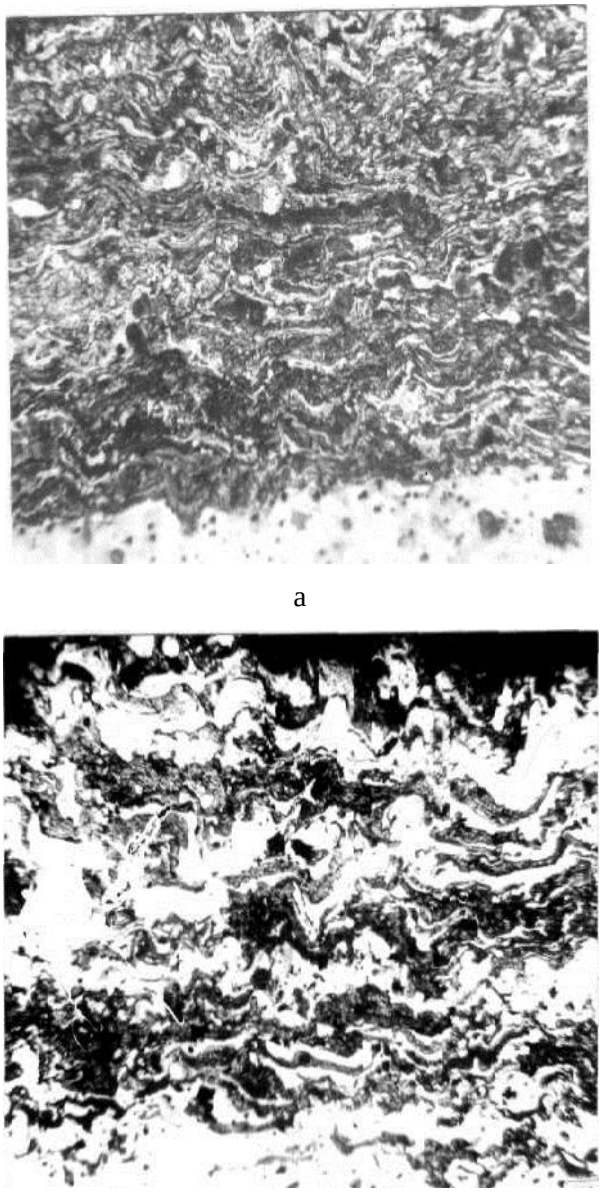
Режим напыления

Напряжение на дуге, В	Сила тока, А	Давление сжатого воздуха, МПа	Диаметр воздушного сопла, мм
40	400	0,5 – 0,55	8

Результаты эксперимента и их обсуждение. Последовательное травление слоя на одну, а затем на другую составляющую позволило четко дифференцировать в слое частицы стали и молибдена (рис.1).

Образование покрытия последовательной упаковкой множества сильно деформирующихся частиц создает слоистую структуру покрытия.

При этом выявилась своеобразная особенность стале-молибденового покрытия, повторяющаяся во всех поршневых кольцах: частицы стали и молибдена распределены в каждом поперечном сечении слоя не равномерно, а последовательно чередующимися слоями. Такое распределение частиц, очевидно, может быть обусловлено особенностями движения в газовой струе частиц разной массы.



а

б

Рис. 1. Общий вид напыленного слоя:
а – полное травление; б – травление на молибден Х115

В целом же по окружности кольца за 20 проходов горелки формируется довольно однородное распределение частиц.

Важнейшей характеристикой напыленного слоя, определяющей успешную работу покрытия, является его связь с поверхностью подложки. Очевидно, что предварительная дробеструйная обработка канавки обеспечивает благоприятные условия для адгезии.

Выявляемая металлографически структура частиц молибдена демонстрирует их мелкозернистость. Кроме того, структура свидетельствует о том, что частицы молибдена попали на подложку в расплавленном состоянии и быстро кристаллизовались под давлением за счет теплоотвода в глубь металла подложки или слоя. Таким образом, скоростная кристаллизация под давлением способствовала созданию мелкозернистой структуры.

Известно [3], что сверхмелкое зерно, образующееся в напыленных частицах молибдена, должно заметно повысить его прочность и твердость.

Однако наблюдаемое трехчетырехкратное повышение твердости частиц молибдена по сравнению с исходным состоянием молибденовой проволоки вряд ли вызвано только измельчением зерна и наклепом частиц.

Структура частиц отвечает наибольшему насыщению молибдена примесями внедрения. Основная масса частиц характеризуется структурой пересыщенного твердого раствора с начальными стадиями старения.

Что касается структур частиц стали, то это в основном частицы со структурой более или менее равномерно распределенных в матрице зернистых карбидов различной зернистости.

Основная масса частиц имеет структуру, подобную структуре деформированной стали. Кристаллизация под давлением приводит в каждый момент к образованию мелкодисперсной аустенитной структуры, окруженной тонкими прослойками жидкого раствора, который должен превратиться в карбидную составляющую.

Большое содержание остаточного аустенита в стальных частицах обусловлено тем, что закалка частиц происходит от предплавильных температур, что создает высокое леги-рование аустенита и снижение его Мн.

Данные о твердости исследуемых материалов после напыления и шлифования приведены в таблице 2 и на рисунке 2 и 3.

Таблица 2

Твёрдость исследуемых материалов

Материал	Твердость по Виккерсу, Н	Микротвёрдость, Нм
Проволока молибдена	120	1800–2000
Проволока стали	240	2900–3200
Сталь-молибденовое покрытие после напыления: частицы молибдена, частицы стали	230…240	4000–8000 3000–6000
Сталь-молибденовое покрытие после шлифования: частицы молибдена, частицы стали	230…240	5000–8000 3000–6000
Высокопрочный чугун	220	

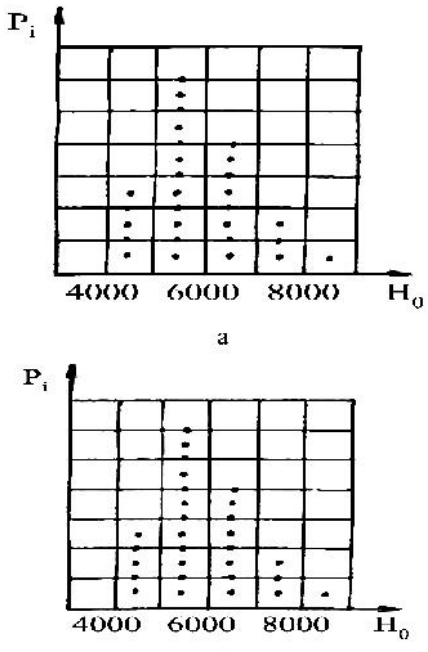


Рис. 2. Микротвёрдость молибдена: а – после напыления; б – после шлифования

Оценка толщины частиц в слое и глубин отпечатков, получаемых при измерении микротвердости нагрузкой 0,49 Н, показала, что в большинстве случаев продавливание частиц исключается.

Для частиц молибена и стали обнаружены значительные различия в числах микро-

твёрдости для разных частиц, а также и в пределах одной частицы.

Такой разбег чисел твёрдости не может быть следствием разброса значений от замера к замеру, а, очевидно, отражает различное структурное состояние частиц. Для оценки преимущественного диапазона твердости частиц (т. е. их преимущественного структурного состояния) построены гистограммы распределения частиц по диапазонам твёрдости.

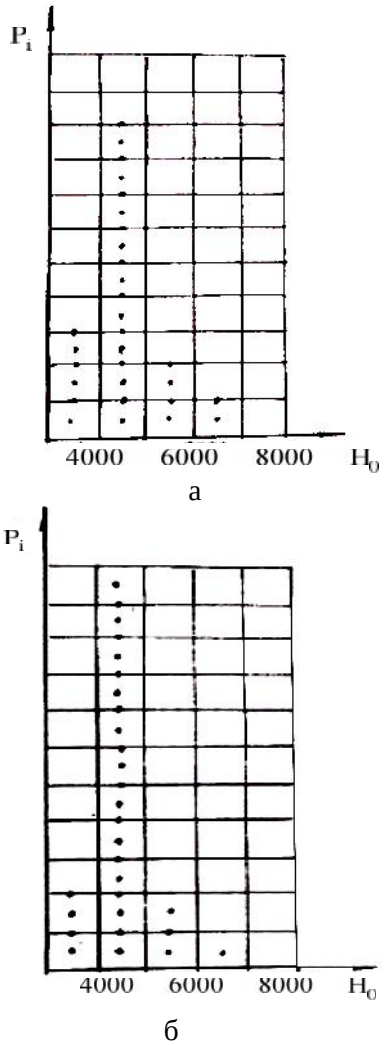


Рис. 3. Микротвёрдость стали: а – после напыления; б – после шлифования

Рисунке 2 и 3 характеризуют такое распределение для молибдена и стали в слое после напыления и шлифования.

Можно видеть, что наибольшее число частиц молибдена обладает микротвёрдостью в диапазоне 5000–7000, но с преобладанием 5000 – 6000. При этом существуют и более мягкие (до 4000) и более твёрдые (до 8000) частицы молибдена. Приведённые данные свидетельствуют о значительном упрочнении молибдена при напылении: твёрдость исходной проволоки молибдена составляет лишь 2000 МПа.

Частицы стали также заметно упрочняются по сравнению с исходной проволокой. Наибольшее число частиц характеризуются микротвёрдостью составляющей 4000–5000 МПа, хотя есть значительное число частиц и большей твёрдости. Нужно отметить, что повышение твёрдости многих частиц стали меньше, чем может быть достигнуто объёмной термической обработкой стали по стандартному для неё режиму (HRC – 57–58). Характерно также, что твёрдость частиц стали меньше, чем частиц молибдена.

Макротвёрдость покрытия сравнительно не-велика и сопоставима с макротвёрдостью чугуна, из которого изготовлено кольцо.

Низкое значение макротвёрдости обусловлено пористостью покрытия.

Поршневые кольца со сталь-молибденовым покрытием по техническим условиям эксплуатируются после шлифования. На рис. 2, б и 3, б представлены гистограммы для частиц молибдена и стали на шлифованной поверхности.

По-прежнему наибольшее число частиц молибдена соответствует диапазону микротвёрдости 5000 – 6000 МПа, но наблюдается заметный сдвиг твёрдости в интервал 6000 – 7000 МПа по сравнению с напылённым состоянием (ср. рис. 2, а и 3, а). Для стали увеличивается число частиц с твёрдостью в интервале 4000 – 5000 МПа. Таким образом, при шлифовании происходит некоторое повышение микротвердости стали.

Научная новизна и практическая значимость. Нанесение сталемолибденового покрытия приводит к повышению микротвердости. Научная новизна работы заключается в объяснении механизма формирования покрытия путем последовательной упаковки множества сильно деформирующихся частиц и образование слоистой структуры. Частицы стали и молибдена распределены в каждом поперечном сечении слоя не равномерно, а последовательно чередующимися слоями.

Высокая твердость частиц молибдена в напыленном слое обусловлена рядом факторов: сверхмелким зерном, наклепом частиц и изменением их химического состава, создающим условия для упрочнения старением.

Твердость стальных частиц определяется мелкодисперсными карбидами и наклепом аустенита.

Практическая значимость заключается в возможности существенного упрочнения рабочих поверхностей деталей машин, подвергающихся износу.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование / Кудинов В. В., Бобров Г. В. – Москва : Металлургия, 1992. – 432 с.
2. Упрочнение изделий из высокопрочного чугуна / Ю. Н. Дзюба, А. П. Любченко, Д. Б. Глушкова, В. И. Мощенок, В. П. Тарабанова // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009. – № 5. – С. 11-14.
3. Металлизация распылением / Н. В. Катц, Е. В. Антошин, Д. Г. Вадивасов, Г. Д. Вольперт, Л. М. Камионский. – Москва : Машиностроение, 1966. – 199 с.

REFERENCES

1. Kudinov V.V. *Nanesenie pokrytiy napyleniem. Teoriya, technologiya i oborudovanie* [Spray coating. The theory, technology and equipment]. Moscow: Metallurgiya, 2000, 205 p. (in Russian).
2. Dzyuba Yu.N., Lyubchenko A.P, Glushkova D.B., Moshchenok V.I. and Tarabanova V.P. *Uprochnenie izdeliy iz vysokoprochnogo chuguna* [Hardening of products of ductile iron]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya* [Repair, restoration, modernization].2009, no.5, pp. 11-14. (in Russian).
3. Katts N.V., E. V. Antoshin E.V., Vadivasov D.G., Vol'pert G.D. and Kamionskiy L.M *Metallizatsiya raspyleniem* [Metallization by spraying]. Moscow: Mashinostroenie, 1966, 199 p. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 15.05.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. В. С. Вахрушева

Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.

УДК 519.21

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕЙВЛЕТНО-МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ДЛЯ ПРОГНОЗА ЕГО КАЧЕСТВА

ВОЛЧУК В. Н., *д. т. н., доц.*
Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

Аннотация. Постановка проблемы. На сегодняшний день реализовать детерминированный метод оценки механических свойств, основанный на анализе причинно-следственных связей, не представляется возможным, поскольку на них оказывает значительное влияние большое число переменных, сильно взаимосвязанных между собой, часть из которых изменяется в широком диапазоне непредсказуемым образом.

Особенно остро эта задача стоит при оценке механических характеристик металлических конструкций и изделий ответственного назначения в процессе их эксплуатации: труб нефтепроводов, каркасов жилых зданий и т. д. В этих случаях проведение механических испытаний представляется задачей не всегда технически осуществимой, а из множества экспресс-методов неразрушающего контроля на практике чаще всего применяют вербальный или полуколичественный (балловая оценка). Сложность заключается в том, что под воздействием различных факторов: температуры, агрессивных сред и т. д., структурные превращения протекают вдали от термодинамического равновесия, вследствие чего часто получают смешанные типы структуры, в том числе и видманштеттовые. Использование классических методов металлографии не всегда позволяет проводить количественную оценку подобных структур с той точностью, которая может понадобиться в практических целях. В этой связи значительный интерес представляет поиск новых подходов для оценки структуры металла с целью прогноза его механических свойств. ***Цель работы.*** Получить информацию о возможности применения методов вейвлетно-мультифрактального анализа для оценки механических свойств металла. ***Вывод.*** Установлена чувствительность между прочностными свойствами и однородностью, регулярностью элементов структуры перлитно-бейнитной группы, а также между вязкими свойствами и однородностью, регулярностью элементов ферритной группы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что реализация разработанного метода позволяет при минимально возможных затратах на натурные испытания обеспечивать необходимую в практических целях точность.

Ключевые слова: *вейвлетно-мультифрактальный анализ, размерность, механические свойства, прогноз*

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВЕЙВЛЕТНО-МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ЙОГО ЯКОСТІ

ВОЛЧУК В. М., *д. т. н., доц.*
Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

Анотація. Постановка проблеми. На сьогоднішній день реалізувати детермінований метод оцінки механічних властивостей, заснований на аналізі причинно-наслідкових зв'язків, не уявляється можливим, оскільки на них значно впливає велике число змінних, сильно взаємозалежних між собою, частина з яких змінюється в широкому діапазоні непередбаченим чином.

Особливо гостро це завдання стоїть у випадку оцінювання механічних характеристик металевих конструкцій і виробів відповідального призначення в процесі їх експлуатації: труб нафтопроводів, каркасів житлових будинків тощо. У цих випадках проведення механічних випробувань стає завданням не завжди технічно здійсненним, а з безлічі експрес-методів неруйнівного контролю на практиці найчастіше застосовують вербальний або напівкількісний (балова оцінка). Складність полягає в тому, що за впливу різних факторів: температури, агресивних середовищ і т. д., структурні перетворення відбуваються віддаліу від термодинамічної рівноваги, внаслідок чого часто отримують змішані типи структури, у тому числі і відманштеттові. Застосування класичних методів металографії не завжди дозволяє проводити кількісну оцінку подібних структур із тією точністю, що може знадобитися на практиці. У цьому зв'язку значний інтерес становить пошук нових підходів до оцінювання структури металу з метою прогнозу його механічних властивостей. ***Мета роботи.*** Отримати інформацію про можливості застосування методів вейвлетно-мультифрактального аналізу

для оцінки механічних властивостей металу. ***Висновок.*** Установлено чутливість між показниками міцності та однорідністю, регулярністю елементів структури перлітно-бейнітної групи, а також між в'язкими властивостями й однорідністю, регулярністю елементів феритної групи. Отримані результати свідчать про те, що реалізація розробленого методу дозволяє при мінімально можливих витратах на натурні випробування забезпечувати необхідну на практиці цілях точність.

Ключові слова: *вейвлетно-мультифрактальний аналіз, розмірність, механічні властивості, прогноз*

APPLICATION OF RESULTS OF WAVELET AND MULTIFRACTAL ANALYSIS OF METAL STRUCTURE FOR PROGNOSIS OF ITS QUALITY

VOLCHUK V. M., *Dr. Sc. (Tech.)*

Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

Summary. Problem statement. At present , to implement a deterministic method of assessment of the mechanical features is not possible based on the analysis of causalit links, because they are influenced with a large number of variables that are highly correlated with each other, and some part of them are changing in a wide range of unpredictable ways.

Especially, this problem is in assessing the mechanical properties of metal constructions and products of special purpose in the process of their expluatation: oil pipes, carcasses of residential buildings, etc. In these cases, mechanical testing is the problem is not always technically feasible, and out of variety of express methods of non-destructive control are used often in practice in verbal or semiquantitative. The difficulty is that under the impact of various factors: temperature, corrosive environments, etc., structural changes occur far from thermodynamic equilibrium, and as result the mixed structures are got, including widmanshtatten structure. Use of classical methods of metallography is not always possible to quantify such structures with the precision that may be necessary for practical purposes. In this regard, considerable interest is the search for new approaches to assess the metal structure with a purpose of prognosis of its mechanical properties. ***Purpose***. To obtain information about the possible application of wavelet-multifractal analysis to assess the mechanical properties of metal. ***Conclusion.*** Sensitiveness between strength properties and uniformity is set with regularity of structure elements of bainite-perlite group, and also between the viscous properties and uniformity, a regularity of element of the ferrite group. The results suggest that the realization of this method allows in the minimal and possible cost for the real tests to provide the necessary accuracy for practical purposes.

Key words: *wavelet-multifractal analysis, the dimension, the mechanical properties, the prognosis*

Введение. На сегодняшний день на производстве внедрено множество методик и моделей прогнозирования механических свойств металлов и сплавов на основе анализа их структуры и состава, что сводит к минимуму количество механических испытаний и дает огромный экономический эффект в промышленных масштабах [1; 2]. Это связано с тем, что реализовать детерминированный метод оценки механических свойств, основанный на анализе причинно-следственных связей, не представляется возможным, поскольку на них оказывает значительное влияние большое число переменных, сильно взаимосвязанных между собой, часть из которых изменяется в широком диапазоне непредсказуемым образом.

Особенно остро эта задача стоит при оценке механических характеристик металлических конструкций и изделий ответственного назначения в процессе их эксплуатации: труб нефтепроводов, каркасов жилых зданий и т. д. В этих случаях проведение механических испытаний представляется задачей не всегда технически осуществимой, а из множества экспресс-методов неразрушающего контроля на практике чаще всего применяют вербальный или полуколичественный (балловая оценка).

Сложность заключается в том, что под воздействием температуры, агрессивных сред и т. д. структурные превращения протекают вдали от термодинамического равновесия, вследствие чего часто получаются смешанные типы структуры. Использование классических методов металлографии не всегда позволяет проводить количественную оценку подобных структур с той точностью, которая может понадобиться в практических целях [2]. В этой связи значительный инте-

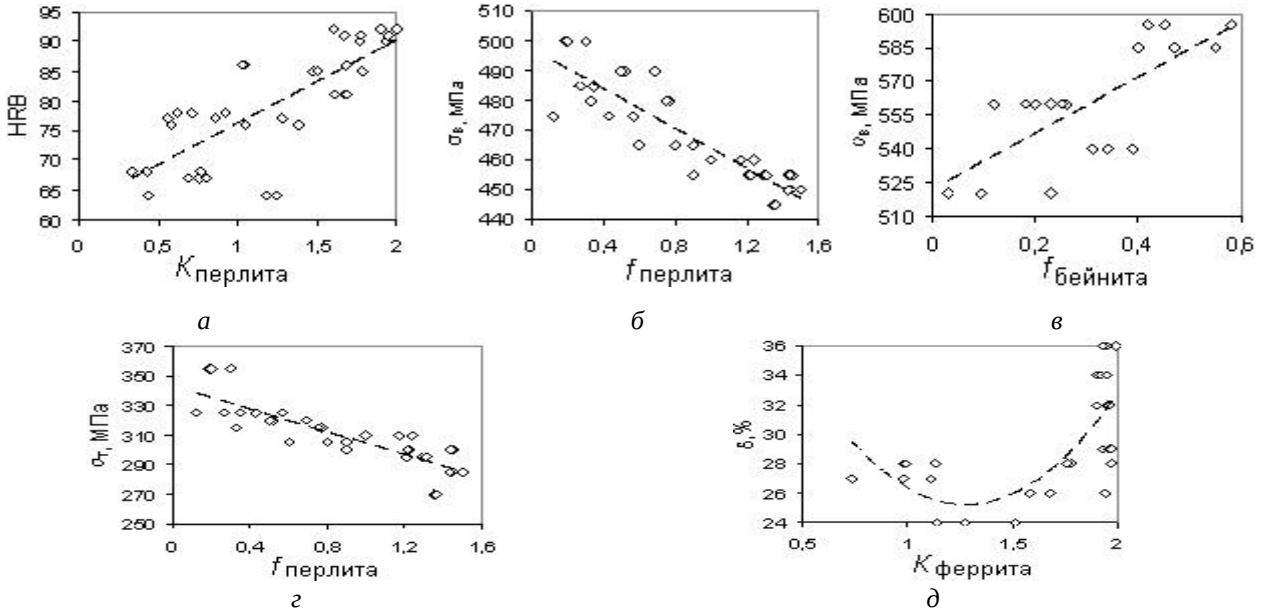
рес представляет поиск новых подходов для оценки структуры металла с целью прогноза его механических свойств, в частности, с применением вейвлетно–мультифрактального подхода [3].

Цель работы – получить информацию о возможности применения методов вейвлетно-мультифрактального анализа для оценки механических свойств металла.

а *б*

Рис. 1. Чувствительность прочностных свойств к перлитно-бейнитной группе (а) и вязких – к ферритной группе (б): 1 J *регулярность перлита; 2* J *однородность перлита и бейнита; 3* J *однородность перлита; 4* J *однородность феррита; 5* J *регулярность феррита; 6* J *регулярность феррита*

Материал и методы исследований. Объектом исследований являлась микроструктура стали Ст3пс (0,14 %С) и связь ее статистических характеристик с механическими свойствами. Из стали Ст3пс (круг ∅ 24 мм) были подготовлены комплекты стандартных образцов для механических испытаний и исследования микроструктуры. Образцы подвергались термической обработке: нагреву до 930 ^{0}С при выдержке 12 мин с ускоренным охлаждением в воде от 650 ^{0}С до 400 ^{0}С с интервалом 50 ^{0}С.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 2. Соотношения между статистическими характеристиками структуры и механическими свойствами стали Ст3пс

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Чувствительность между статистическими характеристиками элементов микроструктуры и механическими свойствами стали Ст3пс определяли по формуле, предложенной авторами в работе [4]:

$$Z_i = \left|Y_i - Y_{i+1}\right| / \left|X_i - X_{i+1}\right|, \qquad (1)$$

где Y_i и Y_{i+1} – статистические характеристики элемента структуры, вычисленные в i и $i+1$ точках структуры металла; X_i и X_{i+1} – механические свойства металла в этих точках.

Таким образом, путем сравнения полученных результатов были выявлены наиболее чувствительные друг к другу статистические характеристики и механические свойства. На рисунке 1 приведена гистограмма распределения чувствительности механических свойств стали Ст3пс к статистическим характеристикам элементов ее микроструктуры. Из гистограммы следует, что наилучшая чувствительность наблюдается между прочностными свойствами и характеристиками однородности, регулярности перлитно-бейнитной группы (рис. 1 *а*), а также между вязкими свойствами и однородностью, регулярностью феррита (рис. 1 *б*), как структуры с наиболее высокими пластичными свойствами.

Такой подход позволил получить формализованное описание соотношений между наиболее чувствительными друг к другу механическими свойствами металла и статистическими характеристиками конкретного элемента микроструктуры. На рисунке 2 приведены установленные в этой связи корреляционные зависимости.

Уравнения аппроксимации соотношений, приведенных на рисунке 2, имели следующий вид:

$$HRB = 14{,}068 \cdot K_{перлита} + 62{,}129 \quad (2) \text{ к рис. 2 } а,$$

$$\pm_B = -33{,}328 \cdot f_{перлита} + 497{,}42 \quad (3) \text{ к рис. 2 } б,$$

$$\pm_B = 124{,}48 \cdot f_{бейнита} + 521{,}94 \quad (4) \text{ к рис. 2 } в,$$

$$\pm_T = -38{,}931 \cdot f_{перлита} + 343{,}22 \quad (5) \text{ к рис. 2 } г,$$

$$¢ = 14{,}436 \cdot K^2_{феррита} - 36{,}857 \cdot K_{феррита} + 48{,}757. \quad (6) \text{ к рис. 2 } д.$$

Для установления практической ценности использования вейвлетно-мультифрактального подхода для прогноза механических свойств стали Ст3пс проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами, которые получены с помощью разработанных ранее методов неразрушающего контроля [1]. Средняя относительная погрешность при вычислении механических свойств с использованием вейвлетно-мультифрактального подхода (по полученным уравнениям (6-9)) составляет 7 %, с помощью существующих методов неразрушающего контроля – 11 % [1], что свидетельствует об удовлетворительной согласованности полученных результатов с соответствующими данными натурных испытаний.

Выводы. По результатам проведенной работы установлена чувствительность между прочностными свойствами и однородностью, регулярностью элементов структуры перлитно-бейнитной группы, а также между вязкими свойствами и однородностью, регулярностью элементов ферритной группы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что реализация разработанного метода позволяет при минимально возможных затратах на натурные испытания обеспечивать необходимую в практических целях точность.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. 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 : сб. науч. тр. / Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины. – Киев, 2011. – Т. 33, № 3. – С. 347-360.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография (стереология металлических материалов) / С. А. Салтыков. – Москва : Металлургия, 1976. – 270 с.
3. Большаков В. И. Фракталы в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров. – Днепропетровск : ПГАСА, 2005. – 253 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.

REFERENCES

1. Bol'shakov V.I. and Volchuk V.N. *Materialovedcheskie aspekty primeneniya veyvletno-mul'tifraktal'nogo podkhoda dlya otsenki struktury i svoystv malouglerodistoy stali* [Materials science aspects of the application of wavelet multifractal approach for assessing the structure and properties of low-carbon steel]. *Metallofizika i noveyshie tekhnologii* [Metal physics and advanced technologies]. Kiev, 2011, vol. 33, no 3, pp. 347-360. (in Russian).
2. Saltykov S.A. *Stereometricheskaya metallografiya (stereologiya metallicheskikh materialov)* [Stereometric metallography (Stereology of metallic materials)]. Moscow: Metallurgiya, 1976, 270 p. (in Russian).
3. Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and. Dubrov Yu.I. *Fraktaly v materialovedenii* [Fractals in material science]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2005, 253 p. (in Russian).
4. Bol'shakov V.I. and Dubrov Yu.I. *Ob otsenke primenimosti yazyka fraktal'noy geometrii dlya opisaniya kachestvennykh transformatsiy materialov* [An estimate of the applicability of the language of fractal geometry to describe the qualitative transformation of materials]. *Dopovidi Natsional'noy akademii nauk Ukrainy* [Reports National Academy of Sciences of Ukraine]. 2002, no. 4, pp. 116-121. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 15.05.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Ю. І. Дубров

Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.

УДК 669.056.9:620.3

УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ

ВАГАНОВ В. Е., *к. т. н., доц.*
Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: vaganovv@bossmail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4123-4036

Аннотация. Постановка проблемы. В числе разработанных технологий производства металломатричных композитов особое место занимает порошковая металлургия, имеющая принципиальные отличия от традиционно применяемых литейных технологий. Основными достоинствами этой технологии являются: возможность тонкого регулирования структуры и фазового состава исходных компонентов и в конечном итоге возможность получения объемных материалов в наноструктурированном состоянии с минимальным количеством технологических операций. К числу потенциальных упрочнителей, металлов относятся: микро- и наноразмерные оксиды, карбиды, нитриды, вискерсы и другие. Особое положение занимают углеродные наноструктуры (УНС): фуллерены C_{60}, одностенные и многостенные нанотрубки, онионы (сферические «луковицы»), наноалмазы и графены, свойства которых интенсивно исследуют в последние годы. Эти объекты обладают высокими значениями тепло- и электропроводности, сверхупругостью и имеют прочность, близкую к теоретической, что может обеспечить получение композиционных наноматериалов с уникальным комплексом физико-механических свойств. При создании металломатричных композиционных материалов (КМ), упрочненных различными УНС, уже на стадии подготовки исходных компонентов, особое внимание следует приделять процессам механоактивации (МА), влияющим на структуру, фазовый состав и свойства алюмоматричных композитов. ***Цель работы*** J исследовать влияние механоактивации на структуру и фазовый состав алюмоматричных композитов. ***Вывод.*** Представлены результаты исследования структуры и фазового состава исходных и механоактивированных порошков и объемных модифицированных металломатричных композитов, в зависимости от типа и концентрации модифицирующих разновидностей УНС, режимов МА и параметров компактирования. Проведены исследования трибологических свойств Al-УНС наноструктурированных материалов.

Ключевые слова*:* *структура, фуллерен, алюминий, кристаллиты, механоактивация, карбиды*

ВУГЛЕЦЕВМІСНІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ МЕТАЛІВ

ВАГАНОВ В. Є., *к. т. н., доц.*
Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: vaganovv@bossmail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4123-4036

Анотація. Постановка проблеми. У числі розроблених технологій виробництва металоматричних композитів особливе місце посідає порошкова металургія, що має принципові відмінності від традиційно застосовуваних ливарних технологій. Основні достоїнства цієї технології є: можливість тонкого регулювання структури і фазового складу вихідних компонентів і в кінцевому підсумку можливість отримання об'ємних матеріалів у наноструктурованому стані з мінімальною кількістю технологічних операцій. До числа потенційних зміцнювачів металів відносять: мікро- і нанорозмірні оксиди, карбіди, нітриди, віскерси та інші. Особливе положення займають вуглецеві наноструктури (ВНС): фулерени С60, одностінні та багатостінні нанотрубки, оніони (сферичні «цибулини»), наноалмази і графени, властивості яких інтенсивно досліджують в останні роки. Ці об'єкти володіють високими значеннями тепло- та електропровідності, надпружні і мають міцність, близьку до теоретичної, що може забезпечити отримання композиційних наноматеріалів з унікальним комплексом фізико-механічних властивостей. Створюючи металоматричніх композиційні матеріали (КМ), зміцнені різними УНС, уже на стадії підготовки вихідних компонентів особливу увагу слід приділяти процесам механоактивації, що впливають на структуру, фазовий склад і властивості алюмоматричних композитів. ***Мета роботи*** J дослідити вплив механоактивації на структуру і фазовий склад алюмоматричних композитів. ***Висновок.*** Наведено результати дослідження структури і фазового складу вихідних і механоактивованих порошків і об'ємних модифікованих металоматричних композитів залежно від типу і концентрації модифікувальних різновидів ВНС, режимів МА і параметрів компактування. Проведено дослідження трибологічних властивостей Al-УНС наноструктурованих матеріалів.

Ключові слова*:* *структура, фулерен, алюміній, кристаліти, механоактивація, карбіди*

CARBON-CONTAINING COMPOSITES BASED ON METALS

VAGANOV V. E., *Ph.D.*
Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: vaganovv@bossmail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4123-4036

Summary. **P*roblem statement*** Among the developed technologies metal-composites production,a special place takes powder metallurgy, having fundamental differences from conventionally used foundry technologies. The main advantages of this technology are: the possibility of sensetive control, the structure and phase composition of the starting components, and ultimately the possibility of obtaining of bulk material in nanostructured state with a minimum of processing steps. The potential reinforcers metals include micro and nano-sized oxides, carbides, nitrides, whiskers. The special position is occupied with carbon nanostructures (CNS): C_{60} fullerenes, single-layer and multi-layer nanotubes, onions (spherical "bulbs"), nano-diamonds and graphite,their properties are being intensively studied in recent years. These objects have a high thermal and electrical conductivity values, superelasticity, and have a strength approximate to the theoretical value, which can provide an obtaining composite nanomaterial with a unique set of physical and mechanical properties. In creation of a metal matrix composite nanomaterials (CM), reinforced by various CNS, a special attention should be given to mechanical activation processes (MA) already at the stage of preparation of the starting components affecting the structure, phase composition and properties of aluminum-matrix composites. ***Purpose***. To investigate the influence of mechanical activation on the structure and phase composition of aluminum-matrix composites. ***Conclusion.*** The results of the study of the structure and phase composition of the initial and mechanically activated powders and bulk-modified metal-composites are shown, depending on the type and concentration of modifying varieties CNS, regimes of MA and parameters of compaction. The study is conducted of tribological properties of Al-CNS OF nanostructured materials.

Key words*:* *structure, fullerene, aluminum, crystallites, mechanoactivation, carbides*

Введение. В числе разработанных технологий производства металломатричных композитов особое место занимает порошковая металлургия, имеющая принципиальные отличия от традиционно применяемых литейных технологий. Основными достоинствами этой технологии являются: возможность тонкого регулирования структуры и фазового состава исходных компонентов и в конечном итоге возможность получения объемных материалов в наноструктурированном состоянии с минимальным количеством технологических операций [1; 2].

К числу потенциальных упрочнителей металлов относятся: микро- и наноразмерные оксиды, карбиды, нитриды, вискерсы и другие. Особое положение занимают углеродные наноструктуры (УНС): фуллерены C_{60}, одностенные и многостенные нанотрубки, онионы (сферические «луковицы»), наноалмазы и графены, свойства которых интенсивно исследуют в последние годы [3-15]. Эти объекты обладают высокими значениями тепло- и электропроводности, сверхупругостью и имеют прочность, близкую к теоретической, что может обеспечить получение композиционных наноматериалов с уникальным комплексом физико-механических свойств.

При создании металломатричных КМ, упрочненных различными УНС, уже на стадии подготовки исходных компонентов необходимо решить ряд принципиальных научно-технических задач, связанных с вопросами: равномерности их распределения в объеме материала; защиты от окисления; предотвращения деструкции при механической активации и нагреве; обеспечения образования прочных связей между упрочнителем и матрицей и т. д.

Цель работы J исследовать влияние механоактивации (МА) на структуру и фазовый состав алюмоматричных композитов.

Материал и методы исследований. Объектом исследований являлись процессы влияния механической активации на структуру и фазовый состав исходных и механоактивированных порошков и объемных модифицированных алюмоматричных композитов.

Исследования структуры композиционных материалов было проведено с применением современных методов структурного анализа: просвечивающей электронной микроскопии, (ПЭМ) - JEM-2010; сканирующей электронной микроскопии (СЭМ): Quanta 200 3D, FEi Inc., Голландия; JSM-7600F.

Фазовый состав полученных материалов

исследовали методами РСА; спектроскопии комбинационного рассеяния света, TRIAX 552 (КРС); дифференциальной сканирующей калориметрии, DSC 8000 (ДСК).

Исследования на трение без смазки и износ проводили по схеме осевого нагружения «палец (образец) – диск (контртело из стали 45 (HRC ≥ 63))» на установке CETR UMT Multi-Specimen Test System.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Динамика измельчения кристаллитов алюминия показана на рисунке 1. На начальном этапе МА, длящемся 10-15 мин., средний размер кристаллитов резко снижается от исходного значения 250-350 нм. до 90-120 нм для сплава АД0 (с 1 % поверхностно-активных веществ (ПАВ)) и до 40-70 нм (для алюмоматричных КМ, упрочненных 8 об. % УНС). Далее темп измельчения замедляется и размеры кристаллитов приближаются к некоторому предельному значению. Для всех исследованных составов алюмоматричных композиционных материалов скорость и степень измельчения кристаллитов алюминия увеличиваются при добавлении ПАВ и повышении концентрации УНС.

Полученные данные о среднем размере кристаллитов для исследованных составов алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных УНС, после механической активации приведены в таблице 1.

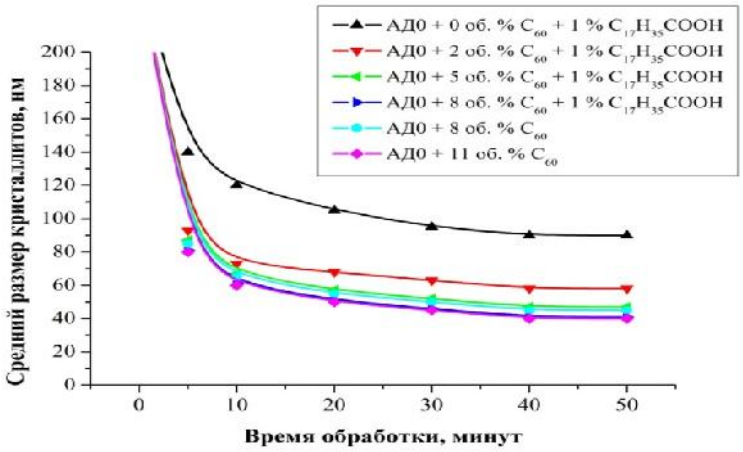


Рис. 1. Зависимость среднего размера кристаллитов алюминия от времени механоактивации, концентрации фуллерена C_{60} и наличия ПАВ

Таблица 1

Зависимость среднего размера кристаллитов алюминия после МА (1 800 об./мин., 40 мин.) от типа и концентрации УНС и наличия ПАВ

КМ	Концентрация УНС в КМ с ПАВ, об. %				Концентрация УНС в КМ без ПАВ, об. %	
	0	2	5	8	8	11
АД0 + C_{60}	90	58	46	41	44	40
АД0 + УНТ		72	65	59	64	61
АД0 + УДА		76	64	58	69	65
АД0 + OLC		72	55	51	67	53
АД0 + Графит		75	64	58	76	59

Сравнительный анализ данных, представленных на рисунке 1 и в таблице 1, показывает, что наибольший эффект измельчения достигается при использовании фуллеренов C_{60} в качестве добавки. Это может быть связано с малыми размерами молекул C_{60} (0,7 нм) и относительно слабыми связями между ними в решетке фуллерита, что обеспечивает их более равномерное и быстрое распределение в матрице. Остальные УНС оказывают примерно одинаковый эффект на изменение среднего размера кристаллитов при МА. Применение стеариновой кислоты в качестве ПАВ позволило не только получить порошки алюмоматричных КМ с малым (до 5 об. %) содержанием УНС, но и ускорить процесс измельчения кристаллитов алюминия, а также снизить их

средний размер на 15-20 %.

Располагаясь по границам кристаллитов, агломератов и агрегатов, ПАВ и УНС образуют на них оболочки, работающие как барьеры, тормозящие рекристаллизацию и препятствующие свариванию металлических частиц, что приводит к более интенсивному измельчению кристаллитов и меньшему агломерированию порошков. Часть УНС могут претерпевать деструкцию и другие превращения, поэтому оболочки вокруг частиц КМ состоят из УНС, ПАВ и различных образовавшихся фрагментов УНС – графеноподобных структур, бесструктурного углерода, оксидов, карбидов и, возможно, стеаратов.

По данным РСА, ПЭМ и СЭМ, полученные порошки имеют сложную иерархическую структуру. Кристаллиты алюминия размером 40-70 нм (в зависимости от состава КМ) объединены в прочные высокоплотные агломераты. Агломераты имеют преимущественно глобулярную форму и склонны слипаться в непрочные пористые агрегаты. Установлено, что положительное влияние ПАВ состоит в уменьшении размеров агрегатов и агломератов в среднем на ≈ 20-30 % по сравнению с образцами без ПАВ. Исследование структуры агрегатов и агломератов в порошках алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных УНС, с помощью СЭМ при больших увеличениях показало, что кроме размерного фактора какие-либо видимые структурные различия образцов, содержащих ПАВ и без него, отсутствуют.

Исследования порошков после МА методом КРС показали (рис. 2), что в образцах присутствуют исходные УНС, а характерные для карбида алюминия Al_4C_3 линии в области 492 см$^{-1}$ и 857 см$^{-1}$ или не наблюдаются, или их интенсивность крайне мала. Кроме этого, на спектрах КРС видны дополнительные линии в области 700 см$^{-1}$, свидетельствующие о взаимодействии УНС с материалом матрицы.

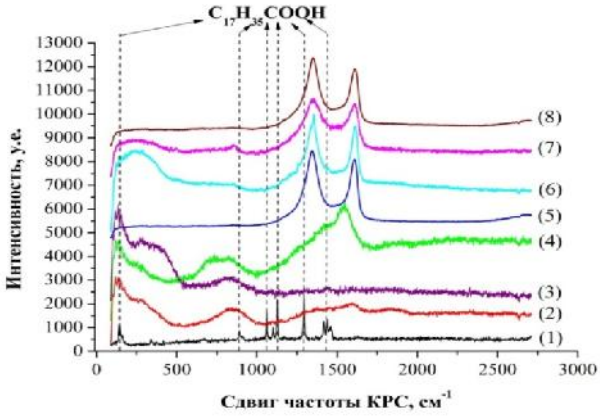


Рис. 2. Спектры КРС алюмоматричных КМ, с добавками УНС, после МА (1 800 об/мин, 40 мин.):
(1) – ПАВ; (2) – АД0 + 0 % УНС + 1 % ПАВ; (3) – АД0 + 0 % УНС + 2 % ПАВ;
(4) – АД0 + 8 об. % C_{60} + 1 % ПАВ; (5) – АД0 + 8 об. % УНТ + 1 % ПАВ; (6) – АД0 + 8 об. % УДА + 1 % ПАВ;
(7) – АД0 + 8 об. % OLC + 1 % ПАВ; (8) – АД0 + 8 об. % графита + 1 % ПАВ

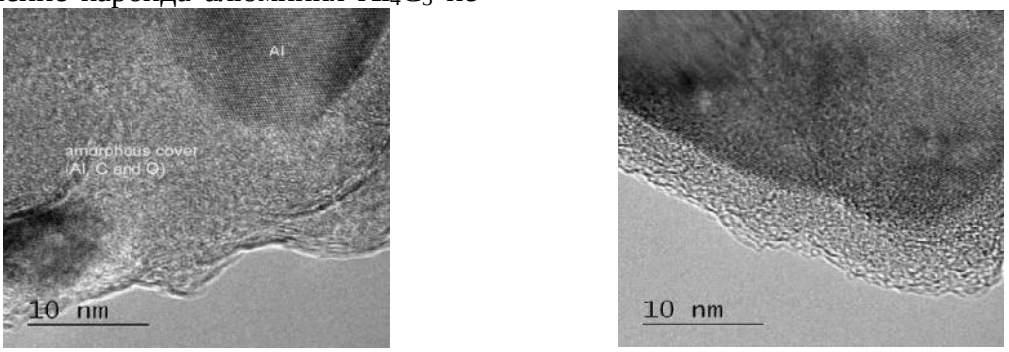
После МА исходных материалов на спектрах КРС следов от стеариновой кислоты не обнаружено. Это может говорить о том, что она или претерпела деструкцию до элементарных частиц кислорода, водорода и углерода, или превратилась в стеараты, однако из-за малой концентрации образующихся соединений их идентификация затруднена. Единственным отличием образцов, содержащих ПАВ, является образование на поверхности кристаллитов алюминия более толстых оболочек с несколько повышенным содержанием в них кислорода и углерода (рис. 3).

Таким образом, фазовый состав порошков алюмоматричных КМ, упрочненных УНС, представляет собой совокупность нескольких фаз: основой является чистая матрица из алюминия и УНС; присутствуют металлоуглеродные комплексы; наблюдаются также следы аморфного углерода; карбидов; оксидов и, возможно, стеаратов, но из-за

слишком малых концентраций с помощью используемых методов установить их количество не удалось.

При горячем прессовании ставилась задача достижения максимальной плотности и прочности образцов при соблюдении следующих ограничений: обеспечить минимальный рост зерен для сохранения наноструктуры; исключить деструкцию УНС; предотвратить образование карбида алюминия Al_4C_3; сохранить условия для активного образования прочных металлоуглеродных комплексов.

Появление карбида алюминия Al_4C_3 нежелательно, поскольку его наличие неизбежно приведет к снижению физико-механических и эксплуатационных свойств полученного материала. Присутствие на границах кристаллитов или агломератов поверхностного слоя из карбида может затруднить образование металлоуглеродных комплексов и ухудшить спекаемость порошков КМ. Кроме того, при эксплуатации материала возможен гидролиз Al_4C_3, который будет сопровождаться коррозией по границам зерен алюминия, что приведет к возникновению пор и потере прочности.



а *б*

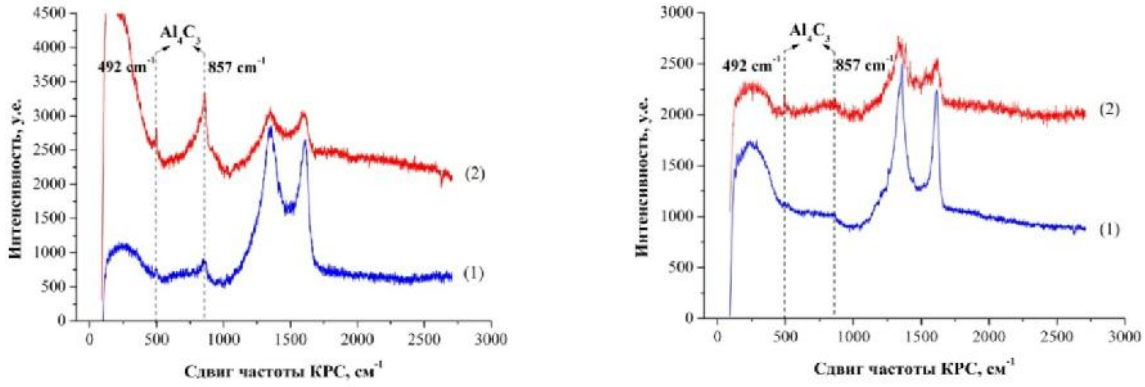
Рис. 3. ПЭМ изображения оболочек в алюмоматричных КМ, упрочненных УНС: а – с ПАВ; б – без ПАВ

Для определения температуры начала карбидообразования в исследуемых материалах применялись методы ДСК, КРС и ПЭМ. Методом ДСК было установлено, что при нагревании механоактивированных порошков алюмоматричных КМ, упрочненных УНС, наблюдаются экзо- и эндотермические эффекты. Для матричного сплава АД0 без добавления ПАВ и УНС в температурном интервале 290-310°С никаких тепловых эффектов не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии активных структурных превращений и каких-либо химических реакций. В материалах, содержащих УНС, в том же температурном интервале процесс характеризуется экзотермическим эффектом, в то время как для матричного сплава АД0 с добавлением 1 % ПАВ тепловой эффект является эндотермическим. Все это говорит о том, что наблюдаемые тепловые эффекты связаны не со структурными превращениями матричного сплава, а с протеканием химических реакций между УНС, ПАВ и матрицей.

Методом КРС было установлено, что тепловой эффект, регистрируемый ДСК, даст реакция образования карбида алюминия Al_4C_3. На рис. 9 представлены спектры КРС для образцов алюмоматричных КМ, упрочненных УДА и OLC, полученных при температуре 290 и 400°С. Положение характерных линий для карбида алюминия Al_4C_3 (492 и 857 $см^{-1}$) показано на рисунке 4 стрелками.

В образцах, полученных методом горячего прессования при температуре 400°С, с помощью ПЭМ также наблюдались отдельные частицы карбида алюминия Al_4C_3 (3-5 шт. в 15-20 полях зрения) размером не более 25-30 нм.

Другой важной задачей при горячем прессовании является сохранность нанокристаллической структуры матрицы полученных КМ. Как известно, при повышенных температурах процессы рекристаллизации значительно ускоряются, что сопровождается активным ростом зерен, огрублением структуры и, как следствие, переходом материала из наноструктурного в микроструктурное состояние.



а *б*

Рис. 4. Исследование фазового состава методом КРС на примере алюмоматричных КМ, упрочненных: а – OLC; б – УДА при температурах: (1) – 290îC; (2) – 400îC

Результаты измерений среднего размера кристаллитов алюминия в исследованных образцах разных составов после горячего прессования при температуре 290 °С показаны в таблице 2. Из приведенных данных видно, что после горячего прессования средний размер кристаллитов увеличивается незначительно, а их рост можно замедлить за счет повышения концентрации УНС и применения ПАВ.

Таблица 2

Средний размер кристаллитов алюмоматричных КМ, упрочненных УНС, после горячего прессования (290 îC, 650 МПа, 7 мин.)

КМ	Концентрация УНС в КМ с ПАВ, об. %								Концентрация УНС в КМ без ПАВ, об. %			
	0	Δ	2	Δ	5	Δ	8	Δ	8	Δ	11	Δ
АД0 + C_{60}	135	*45*	63	*5*	50	*4*	44	*3*	54	*10*	47	*7*
АД0 + УНТ			83	*9*	69	*4*	62	*3*	77	*12*	71	*10*
АД0 + УДА			90	*15*	77	*14*	73	*10*	84	*15*	80	*13*
АД0 + OLC			90	*17*	64	*9*	58	*7*	74	*9*	53	*7*
АД0 + Графит			90	*15*	64	*13*	68	*10*	76	*12*	59	*7*

Примечание: Δ – изменение среднего размера кристаллитов в алюмоматричных КМ после горячего прессования относительно образцов того же состава после МА

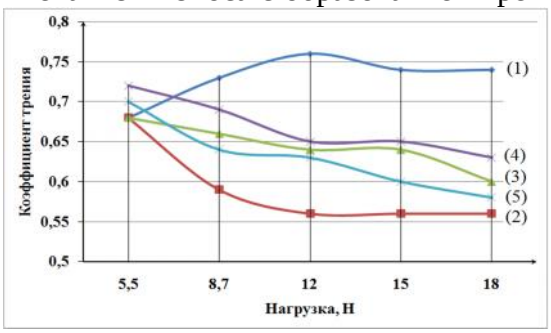
Как видно из таблицы 2, наименьшее изменение среднего размера кристаллитов алюминия достигается за счет применения фуллеренов C_{60} и УНТ, что связано с особенностями их физико-химического взаимодействия. Увеличение среднего размера кристаллитов алюминия в образцах, содержащих ПАВ, оказывается в среднем на 15-20 % меньше, чем в образцах без него. Это может говорить о том, что стеариновая кислота способствует более равномерному распределению УНС по поверхностям агрегатов, агломератов и кристаллитов.

Для установления влияния морфологии УНС на трибологические характеристики алюмоматричных КМ были проведены испытания на трение без смазки по схеме «палец (образец) – диск (контртело)». Из представленных на рисунке 5 данных видно, что введение УНС в алюминиевую матрицу дает возможность снизить коэффициент трения на 30 %, а износ – на 45 % (рис. 3).

Полученные результаты показывают, что армирование алюминиевой матрицы УНС является эффективным способом повышения трибологических характеристик алюмоматричных КМ. Наиболее сильный эффект снижения коэффициента трения и интенсивности изнашивания поверхности КМ наблюдается при армировании фуллереном C_{60} и графитом.

Изнашивание алюмоматричных КМ, армированных высокомодульными керамическими частицами, происходит по следующим механизмам: в начальный момент времени преобладает абразивное изнашива-

ние, о котором свидетельствуют характер дефектов контактной поверхности и нестабильность коэффициента трения. С увеличением нагрузки и времени испытания на смену абразивному приходит окислительный механизм износа с образованием третьего тела. Такая смена механизмов происходит за счет появления на контактных поверхностях тел механической смеси оксидов алюминия и железа. При больших нагрузках возможно преимущественно адгезионное изнашивание и затем задир.



а

б

Рис. 5. а - коэффициент трения алюмоматричных КМ, упрочненных УНС, в зависимости от приложенной нагрузки; б - значения износа: 1 – АД0 + 0 % УНС + 1 % ПАВ; 2 – АД0 + 8 об. % C_{60} + 1 % ПАВ; 3 – АД0 + 8 об. % УНТ + 1 % ПАВ; 4 – АД0 + 8 об. % OLC + 1 % ПАВ; 5 – АД0 + 8 об. % графита + 1 % ПАВ

В алюмоматричных КМ, упрочненных УНС, начальные этапы испытания также характеризуются преимущественно вкладом в износ абразивного и окислительного механизмов, на смену которым после отшелушивания окисных слоев приходит режим самосмазывания. Такой механизм изнашивания сохраняется в широком диапазоне нагрузок, о чем свидетельствует стабильность процесса трения. Результаты, полученные в ходе проведения трибологических испытаний, показывают эффективность применения алюмоматричных КМ, упрочненных УНС, в качестве материалов антифрикционного назначения.

Выводы. Представлены результаты исследования структуры и фазового состава исходных и механоактивированных порошков и объемных модифицированных металломатричных композитов, в зависимости от типа и концентрации модифицирующих разновидностей УНС, режимов МА и параметров компактирования. Проведены исследования трибологических свойств Al-УНС наноструктурированных материалов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В. Е. Структурообразование при спекании порошковых материалов системы железо-углеродные нанотрубки (нановолокна) / В. Е. Ваганов, В. Д. Захаров, Д. В. Абрамов, С. Н. Ратиев, А. Д. Рябцев, В. В. Пашинский, Л. А. Соловьева // Материаловедение. – 2011. – № 2 – С. 53-56.
2. Ваганов В. Е. Исследование структуры и свойств композиционных материалов на основе меди модифицированной углеродными наноструктурами после деформационной и термической обработки / В. Е. Ваганов, Ю. А. Щетинин, В. М. Астрединов, В. Д. Захаров, В. В. Решетняк // Конструкции из композиционных материалов. – 2013. – № 3(131). – С. 11-15.
3. Carbon nanotubes: the solar approach / D. Laplaze, P. Bernier, W. K. Maser, G. Flamantb, T. Guillardb, A. Loiseauc // Carbon. – 1998. – Vol. 36, iss. 5/6. – P. 685-688.
4. Rodriguez N. M. A review of catalytically grown carbon nanofibers / N. M. Rodriguez // Journal of materials research. – 1993. – Vol. 8, iss. 12. – P. 3233-3250.
5. Кечин В. А. Основные тенденции создания наноструктурированных материалов / В. А. Кечин, В. Е. Ваганов // Металлургия и машиностроение. – 2010. – № 2. – С. 27-30.
6. Koyama T. Formation of carbon fibers from benzene / T. Koyama // Carbon. – 1972. – Vol. 10, iss. 6. – P. 757-758.
7. Baird T. Carbon formation on iron and nickel foils by hydrocarbon pyrolysis-reactions at 700°C / T. Baird, J. R. Fryer, B. Grant // Carbon. – 1974. – Vol. 12, iss. № 5. – P. 591-602.
8. Oberlin A. Filamentous growth of carbon through benzene decomposition / A. Oberlin, M. Endo, T. Koyama // Journal of crystal growth. – 1976. – Vol. 32. – P. 335-349.

9. Tibbets G. G. Carbon fibers produced by pyrolysis of natural gas in stainless steel tubes / G. G. Tibbets // Applied physics letters. – 1983. – Vol. 42. – P. 666-667.
10. Tibbets G. G. Why are carbon filaments tubular? / G. G. Tibbets // Journal of crystal growth. – 1984. – Vol. 66, iss. 3. – P. 632-638.
11. Endo M. Formation of carbon nanofibers / M. Endo, H. W. Kroto // Journal of physical chemistry. – 1992. – Vol. 96. – P. 6941-6944.
12. Microscopic growth mechanisms for carbon nanotubes / J. C. Charlier, A. De Vita, X. Blasé, R. Car // Science. – 1997. – Vol. 275, iss. 5300. – P. 647-649.
13. Dai H. Probing electrical transport in nanomaterials: Conductivity of individual carbon nanotubes / H. Dai, E. W. Wong, C. M. Lieber // Science. – 1996. – V. 272, iss. 5261. – P. 523-526.
14. Химическая модификация углеродных нанотрубок / Ваганов В. Е., Орлов В. Ю., Шибаев Д. А., Базлов Д. А. // Известия вузов. Химия и химические технологии. – 2011. – Т. 54, вып. 7. – С. 38-41.
15. Каманина Н. В. Влияние углерод-содержащих наноструктур на оптические и физические свойства материалов включая жидкие кристаллы / Н. В. Каманина, В. Е. Ваганов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2010. – Вып. 2. – С. 5-24.

REFERENCES

1. Vaganov V.E., Zakharov V.D., Abramov D.V., Ratiev S.N., Ryabtsev A.D., Pashinskiy V.V. and Solov'eva L.A. *Strukturoobrazovanie pri spekanii poroshkovykh materialov sistemy zhelezo-uglerodnye nanotrubki (nanovolokna)* [Structure formation during sintering of powder materials of the iron-carbon nanotubes (nanowires)]. *Materialovedenie* [Material science]. 2011, no. 2, pp. 53-56. (in Russian).
2. Vaganov V.E., Shchetinin Yu.A., Astredinov V.M., Zakharov V.D. and Reshetnyak V.V. *Issledovanie struktury i svoystv kompozitsionnykh materialov na osnove medi modifitsirovannoy uglerodnymi nanostrukturami posle deformatsionnoy i termicheskoy obrabotki* [The study of the structure and properties of composite materials based on copper of modified carbon nanostructures after the deformation and heat processing]. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov* [Construction from compositional materioals]. 2013, no. 3(131), pp. 11-15. (in Russian).
3. Laplaze D, Bernier P., Maser W.K., Flamantb G., Guillardb T. and Loiseauc A. *Carbon nanotubes: the solar approach*. *Carbon*.1998, vol. 36, iss. 5/6, pp. 685-688.
4. Rodriguez N. M. *A review of catalytically grown carbon nanofibers. Journal of materials research*. 1993, vol. 8, iss. 12, pp. 3233-3250.
5. Kechin V.A. and Vaganov V.E. *Osnovnye tendentsii sozdaniya nanostrukturirovannykh materialov* [The main tendencies of creating nanostructured materials]. *Metallurgiya i mashinostroenie* [Metallorgy and mechanical engineering]. 2010, no. 2, pp. 27-30. (in Russian).
6. Koyama T. *Formation of carbon fibers from benzene. Carbon*. 1972, vol. 10, iss. 6, pp. 757-758.
7. Baird T. Fryer J.R. and Grant B. *Carbon formation on iron and nickel foils by hydrocarbon pyrolysis—reactions at 700°C. Carbon.* 1974, vol. 12, iss. 5, pp. 591-602.
8. Oberlin A., Endo M. and Koyama T. *Filamentous growth of carbon through benzene decomposition. Journal of crystal growth*. 1976, vol. 32, pp. 335-349.
9. 9.Tibbets G. G. *Carbon fibers produced by pyrolysis of natural gas in stainless steel tubes. Applied physics letters.* 1983, vol. 42, pp. 666-667.
10. 10.Tibbets G.G. *Why are carbon filaments tubular? Journal of crystal growth*. 1984, vol. 66, iss. 3, pp. 632-638.
11. Endo M. and Kroto W. *Formation of carbon nanofibers. Journal of physical chemistry.* 1992, vol. 96, pp. 6941-6944.
12. Charlier J.C.,Vita A.De., Blasé X. and Car R. *Microscopic growth mechanisms for carbon nanotubes. Science*. 1997, vol. 275, iss. 5300, pp. 647-649.
13. Dai H., Wong E.W. and Lieber C.M. *Probing electrical transport in nanomaterials: Conductivity of individual carbon nanotubes. Science.* 1996, vol. 272, iss. 5261, pp. 523-526.
14. Vaganov V.E., Orlov V.Yu., Shibaev D.A. and Bazlov D.A. *Khimicheskaya modifikatsiya uglerodnykh nanotrubok* [Chemical modification of carbon nanotubes]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskie tekhnologii* [Proceedings of HEE. Chemistry and chemistry technologies]. 2011, vol. 54, no.7, pp. 38-41. (in Russian).
15. Vaganov V.E. and Kamanina N.V. *Vliyanie uglerod-soderzhaschikh nano struktur na opticheskie i fizicheskie svoystva materialov vklyuchaya zhidkie kristally* [The influence of carbon-containing nanostructures on the optical and physical properties of materials including liquid crystals]. *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe ispol'zovanie* [Liquid crystals and their practical use]. 2010, iss. no. 2, pp. 5-24. (in Rusian).

Стаття рекомендована до друку 20.07.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. В. И. Большаков
Надійшла до редколегії: 23.08.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р

УДК 624.131.54

РОЗРАХУНОК ФУНДАМЕНТІВ-ОБОЛОНОК ДЛЯ СПОРУД БАШТОВОГО ТИПУ НА ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНИХ ОСІДАНЬ ОСНОВИ

ТИМЧЕНКО Р. О. [1*], *д. т. н., проф.,*
СЄДІН В. Л. [2*], *д. т. н., проф.,*
КРІШКО Д. А. [3*], *к. т. н., ст. викл.*

[1*] Кафедра архітектури та містобудування, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII Партз'їзду, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

[2*] Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-61, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

[3*] Кафедра архітектури та містобудування, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII Партз'їзду, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Анотація. Постановка проблеми. Серед споруд баштового типу часто трапляються такі, фундаменти яких виконують у вигляді круглої або кільцевої плити, на яку спирається усічена конічна оболонка, що є продовженням ядра жорсткості. Круглі в плані і кільцеві залізобетонні фундаменти застосовуються в основному в інженерних спорудах, таких як димові труби, силоси, водонапірні башти, резервуари. Будівлі і споруди, побудовані на несприятливих територіях, зазнають деформаційного впливу від основи. Ступінь ослаблення основи залежить від величини горизонтальних деформацій та зміни структури і стану ґрунту. ***Мета роботи.*** Знижені характеристики ослабленої основи визначаються по-різному, залежно від природи, виду і величини деформаційних впливів. Не для всіх випадків є конкретні рекомендації щодо їх визначення. Робота круглих, кільцевих, полігонального обрисів фундаментних плит у цих умовах недостатньо вивчена і потребує розгляду. ***Висновок.*** Одна з актуальних проблем проектування фундаментних конструкцій у складних ґрунтових умовах - визначення граничних деформаційних впливів для певного виду фундаменту за заданих силових навантажень. Таку задачу можна розв'язувати, поступово збільшуючи деформаційні впливи на фундамент (збільшення кривизни, нахилу, осідань, розмірів уступу, діаметра провалів). Фундаментні конструкції слід проектувати з такими розмірами, щоб відношення жорсткостей плити й основи відповідало найбільшій носійній здатності плити, у цьому випадку найповніше використовуються носійні здатності елементів системи.

Ключові слова*: деформаційні впливи, фундамент, ґрунт*

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ-ОБОЛОЧЕК ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА НА ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК ОСНОВАНИЯ

ТИМЧЕНКО Р. А.[1*], *д. т. н., проф.,*
СЕДИН В. Л.[2*], *д. т. н., проф.,*
КРИШКО Д. А.[3*], *к. т. н., ст. преп.*

[1*] Кафедра архитектуры и градостроительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

[2*] Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-61, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

[3*] Кафедра архитектуры и градостроительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Аннотация. Постановка проблемы. Среди сооружений башенного типа часто встречаются такие, фундаменты которых выполняют в виде круглой либо кольцевой плиты, на которую опирается усеченная коническая оболочка, являющаяся продолжением ядра жесткости. Круглые в плане и кольцевые железобетонные фундаменты применяются в основном в инженерных сооружениях, таких как дымовые трубы, силосы, водонапорные башни, резервуары. Здания и сооружения, построенные на неблагоприятных территориях, претерпевают деформационные воздействия от основания. Степень ослабления основания зависит от величины горизонтальных деформаций и изменения структуры и состояния грунта. ***Цель.*** Сниженные

характеристики ослабленного основания определяются по-разному, в зависимости от природы, вида и величины деформационных воздействий. Не для всех случаев имеются конкретные рекомендации по их определению. Работа круглых, кольцевых, полигонального очертания фундаментных плит в этих условиях недостаточно изучена и требует рассмотрения. ***Вывод.*** Одной из актуальных проблем проектирования фундаментных конструкций в сложных грунтовых условиях является определение предельных деформационных воздействий для определенного вида фундамента при заданных силовых нагружениях. Такую задачу можно решать при постепенном увеличении деформационных воздействий на фундамент (увеличение кривизны, наклона, оседаний, размеров уступа, диаметров провалов). Фундаментные конструкции следует проектировать с такими размерами, чтобы отношение жесткостей плиты и основания соответствовало наибольшей грузоподъемности плиты, тогда наиболее полно используются несущие способности элементов системы.

Ключевые слова*: деформационные воздействия, фундамент, грунт*

CALCULATION OF FOUNDATIONS-COVERS FOR CONSTRUCTIONS OF TOWER TYPE ON THE IMPACT OF UNEVEN SUBSIDENCE OF BASE

TIMCHENKO R. A.[1*], *Dr.Sc.(Tech.), Prof.*,
SEDIN V. L.[2*], *Dr.Sc.(Tech.), Prof.*,
KRISHKO D. A.[3*], *Ph.D., senior lect.*

[1*] Department of architecture and urban planning, State higher educational establishment «Kryvyi Rig National University», str. XXII-th party Congress, 11, 50027, Kryvyi Rig, Ukraine, tel. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

[2*] Foundation Engineering Department, State higher educational institution «Prydniprovs'ka State Academy of civil engineering and architecture», Chernyshevskogo str., 24a, 49600 Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-61, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

[3*] Department of architecture and urban planning, State higher educational establishment «Kryvyi Rig National University», str. XXII-th party Congress, 11, 50027, Kryvyi Rig, Ukraine, tel. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Summary. Problem statement. Among the constructions of the tower type there are the foundations are made as round or circular plate and a truncated conical coverleans on it being a continuation of kernel hardness. The round in plan and circular annular reinforced concrete foundations are mainly used in engineering structures, such as chimneys, silos, water towers, tanks. Buildings and structures built on the unfavorable areas are exposed with deformation influence from the foundation. The degree of weakening of the foundation depends on the size of the horizontal deformations and change of the structure and state of the soil. **Purpose.** Reduced the characteristics of weak bases are defined differently, depending on the nature, type and size of deformation. Not for all cases, there are specific recommendations as for their definition. The work of round, circular, polygonal shape of the foundation plates is not studied enough in these conditions and requires consideration. **Conclusion.** One of the actual problems of the foundation structures design is to define the limits of deformation effects for a certain type of foundation for a given force loading in hard soil conditions. This task can be solved with a gradual increase of deformation impacts on foundation (increasing of curvature, slope, subsidence, dimensions of the ledge, the diameter of the failures). Foundation structures should be designed with such dimensions that the ratio of the stiffness of the plate and the foundation will be conformed to the highest capacity of plate, then supporting capacity of the elements of the system are used most fully.

Key words: *deformation impacts, foundation, soil*

Постановка проблеми. Серед споруд баштового типу часто трапяються такі, фундаменти яких виконують у вигляді круглої або кільцевої плити, на яку спирається усічена конічна оболонка, яка є продовженням ядра жорсткості. Круглі в плані і кільцеві залізобетонні фундаменти застосовуються в основному в інженерних спорудах, таких як димові труби, силоси, водонапірні башти, резервуари.

Будівлі і споруди, побудовані на несприятливих територіях, зазнають деформаційного впливу від основи. Ступінь ослаблення основи залежить від величини горизонтальних деформацій та зміни структури і стану ґрунту [1-2].

Мета статті. Знижені характеристики ослабленої основи визначаються по-різному, залежно від природи, виду і величини деформаційних впливів. Не для всіх випадків є конкретні рекомендації щодо їх визначення. Робота круглих, кільцевих, полігонального обрисів фундаментних плит у цих умовах недостатньо вивчена і потребує розгляду.

Виклад основного матеріалу. Деформаційні впливи на фундамент із боку основи, не пов'язані з навантаженням від споруди (викривлення поверхні основи, нерівномірні осідання, провали), відображаються у розрахунковій схемі додатковими переміщеннями поверхні основи [3]. Якщо, наприклад, до деформування основи фундамент займає положення 1, показане на рисунку 1, то після деформаційних впливів він буде займати положення 2. Тоді додаткове переміщення кожної точки підошви фундаменту від деформаційних впливів (рис. 2) може бути показане у вигляді суми трьох складових:

$$S_i = S_i^f + S_i^{\bar{}_2} + S_i^{\Delta P_i} = S_i^f + X_i \cdot \bar{}_2 + S_i^{\Delta P_i}, \quad (1)$$

де S_i^f – рівномірне переміщення фундаменту як абсолютно твердого тіла; $S_i^{\bar{}_2}$ – переміщення точки за рахунок повороту (додаткового крену) на кут фундаменту $\bar{}_2$; $S_i^{\Delta P_i}$ – додатковий прогин точки, що викликаний зміною епюри реактивних тисків і враховує деформативність (гнучкість) плити.

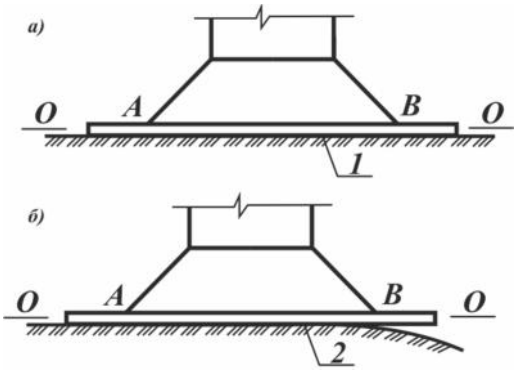


Рис. 1. Деформаційні впливи на фундамент:
а – фундамент до деформування основи;
б – фундамент після деформування основи

Рівномірне занурення фундаменту в ґрунт не викликає додаткових зусиль у конструкціях, якщо не враховувати бічні тиски. Поворот фундаменту (споруди) викликає зсув центру ваги будівлі, що зумовлює додатковий ексцентриситет $e_{\bar{}_2}$, внаслідок чого виникає додатковий згинальний момент величиною:

$$M_2 = F \cdot e_{\bar{}_2} = F \cdot H_{ö} \cdot \bar{}_2, \quad (2)$$

де F – сумарне вертикальне навантаження; $H_{ö}$ – висота центра ваги будівлі відносно підошви фундаменту.

Третя складова ($S_i^{\Delta P_i}$) залежить від реактивних тисків до і після деформаційних впливів і від показника гнучкості плити. Якщо реактивні тиски позначити відповідно $P_1(r,¨)$ і $P_2(r,¨)$ для кожної точки ***i***, зміна відпору ґрунту запишеться так:

$$\Delta P_i = P_{2,i}(r,¨) - P_{1,i}(r,¨) = \Delta P_i(r,¨). \quad (3)$$

Оскільки деформаційні дії відбуваються під час експлуатації, тобто після того, як основа вже була під тисками $P_1(r,¨)$, і з урахуванням того, що грунт є нелінійно-деформованим і непружним тілом, то, визначаючи напружено-деформований стан фундаментних конструкцій, необхідно враховувати особливості роботи (деформування) ґрунту основи.

Деформаційні впливи викликають збільшення контактних тисків в одних точках (додаткове навантаження), а в інших ділянках - їх зменшення (розвантаження), тому для розв'язання даної задачі необхідно мати реальну діаграму деформування ґрунту (залежність між тисками й осіданнями при навантаженні і розвантаженні, рис. 3).

На характер розподілу опору ґрунту впливають не тільки анізотропія основи і силові фактори, а і жорсткості фундаментних конструкцій, насамперед плити. Зазвичай в розрахунках фундамент приймається нескінченно жорстким [2; 4], але дослідження показали, що плита завжди згинається, особливо при утворенні тріщин і ліній зламу [5], це свідчить, що розрахунок плити слід виконувати як конструкції кінцевої жорсткості.

Задача розрахунку фундаментних конструкцій на деформаційний вплив із боку заснування належить до геометрично нелінійних, і розв'язуючи її, вирішенні необхідно враховувати як спільну роботу елементів системи, так і нелінійні властивості матеріалів фундаменту й основи. Така задача зазвичай розв'язується методом послідовних наближень [6]. Будемо розв'язувати її в три етапи.

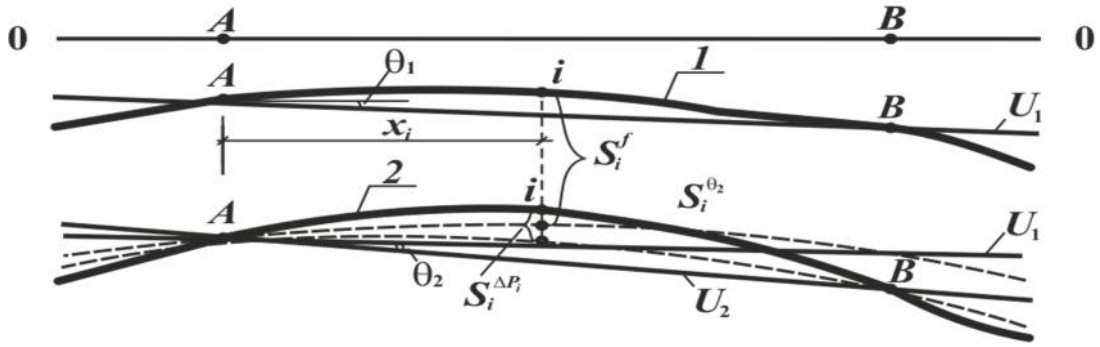


Рис. 2. Переміщення точок серединної поверхні плити до і після деформаційних впливів

На першому етапі розв'язується контактна задача до деформації основи. Фундамент розглядається спочатку як абсолютно жорстке тіло (рис. 4) і тиски по підошві фундаменту в кожній точці *i* визначаються за формулою:

$$P_i = \frac{F}{A} + \frac{m \cdot e_i}{W} \cdot \cos \ddot{}_i , \qquad (4)$$

де $e_i = r_i / R_0$ – безрозмірна координата; A, W – площа і момент опору підошви плити.

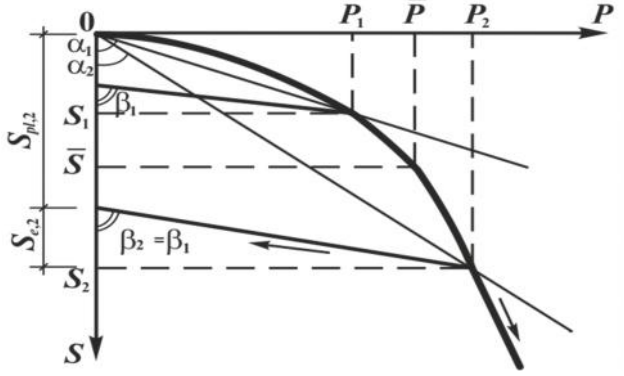


Рис.3. Діаграма деформування ґрунту

Знаючи значення опору ґрунту, можна на діаграмі деформування визначити осідання S_i [3; 4] й уточнити коефіцієнт жорсткості основи в кожній точці за формулою:

$$k_i = tg\sim_i = \frac{R}{S_i + \bar{S}\left(R/\bar{P} - 1\right)}, \qquad (5)$$

де R – граничний тиск на основу; $\bar{S}$ – осідання основи при тиску $\bar{P}$, рівному середньому тиску по підошві фундаменту.

На другому кроці наближень розв'язується контактна задача для плити, завантаженої силовими факторами з боку оболонки, при коефіцієнтах жорсткості, визначених у 1-му наближенні (5), але з урахуванням деформативності плити. Зовнішні навантаження на плиту визначаються як опорні реакції при розрахунку оболонки на дію вертикальної сили і моменту; нижній контур оболонки закладено в плиту, що служить опорою для неї. Розв'язок контактної задачі у 2-му наближенні (з урахуванням гнучкості плити) дає нові значення реактивних тисків, звідси нові значення осідань, а також нові коефіцієнти жорсткості основи. Знову завантажують плиту зовнішніми навантаженнями, взятими з попереднього етапу розрахунку, тепер при нових знайдених значеннях коефіцієнтів жорсткості розв'яується контактна задача. Процес триває до заданої точності на *m*-му кроці наближень. Розрахункові параметри для кожної точки *i* підошви фундаменту будуть $k_{1,i}^{(m)}, S_{1,i}^{(m)}, P_{1,i}^{(m)}$.

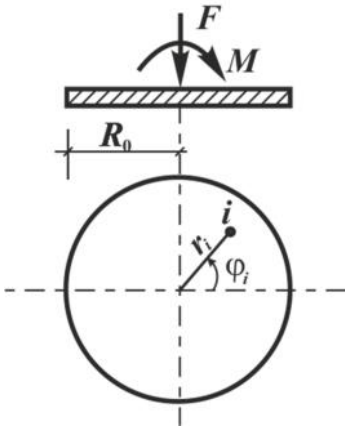


Рис. 4. Координати точки для штампа

На другому етапі розв'яується контактна задача на деформованій основі, тобто після деформаційних впливів, але без урахування залишкових деформацій ґрунту. Як на першому етапі, так і на 1-му кроці визначають реактивні тиски абсолютно жорсткого фундаменту з урахуванням де-

формації основи. Для основних видів деформування основні розрахункові величини опору ґрунту для штампу наведені у праці [7]. За діаграмою знаходять осідання і коефіцієнти жорсткості. На наступному кроці плиту завантажують зовнішніми навантаженнями, але з урахуванням її дійсної жорсткості. Подальший хід розв'язання аналогічний першому етапу. Остаточні розрахункові параметри будуть $k_{2,i}^{(n)}, S_{2,i}^{(n)}, P_{2,i}^{(n)}$.

На третьому етапі порівнюють значення реактивних тисків у різних точках підошви фундаменту до і після деформаційних впливів, щоб установити знак і величини приросту опору ґрунту, при цьому можливі три випадки:

1. Якщо $P_{1,i}^{(m)} \le P_{2,i}^{(n)}$, то фактичне значення коефіцієнта жорсткості знаходять по кривій навантаження і він визначається за формулою (5) при тиску $P_{2,i}^{(n)}$.

2. Якщо $P_{1,i}^{(m)} > P_{2,i}^{(n)}$, то коефіцієнт жорсткості знаходять по кривій розвантаження і він визначається за формулою:

$$k_i = tg\ _i = \frac{P_{1,i}^{(m)}}{S_{e,i}} = \frac{P_{1,i}^{(m)}}{S_{1,i}^{(m)} - S_{pl,i}}. \qquad (6)$$

3. Якщо $P_{2,i}^{(n)} = 0$, то коефіцієнт жорсткості дорівнює нулю (відрив основи від підошви фундаменту).

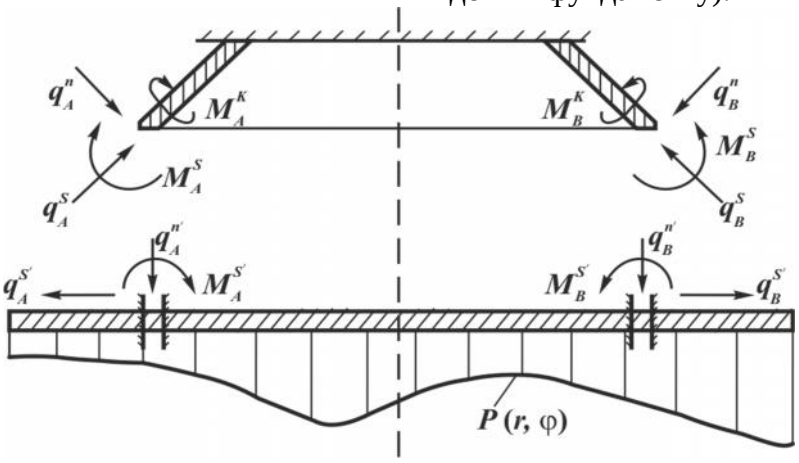


Рис.5. Спільна работа елементів

Після корегування коефіцієнтів жорсткості остаточно розв'язують контактну задачу і визначають напружено-деформований стан фундаментних конструкцій. Деформації плити й оболонки описуються рівняннями технічної теорії тонких пластин і оболонок [8]. Використання обчислювальної техніки дозволяє застосовувати різні числові методи будівельної механіки або замінити континуальну систему дискретною у вигляді перехресних балок еквівалентних жорсткостей. З числових методів найбільш доцільний метод сіток для таких видів конструкцій, коли прогини, зусилля, а також граничні умови мають вираз у формі кінцевих різниць. Таким методом можна розрахувати як плиту, так і оболонку, використовуючи при цьому радіальну решітку регулярної структури. Безперервну основу замінюють еквівалентними силами, прикладеними у вузлах сітки; величини цих сил визначають за формулою:

$$P_i = \overline{P}_i \cdot A_i, \qquad (7)$$

де A_i – вантажна площа, яка припадає до вузла i; $\overline{P}_i$ – середнє значення реактивних тисків у межах вузла.

Силові впливи на плиту з боку оболонки прикладають у відповідних вузлах [9].

Вплив різних видів деформацій на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій може бути оцінений відповідним вибором епюри жорсткісних характеристик або реактивних тисків при урахуванні крену споруди. Для виконання такого розрахунку плиту завантажують реактивними силами (рис. 5) і визначають опорні реакції в місцях стику плити з оболонкою. Тоді внутрішню частину плити можна розглядати як круглу пластину, за-

кріплену по контуру і зовнішню – кільцеву, закріплену по внутрішньому контуру.

Сумарні опорні зусилля (реакції) визначаються як зовнішні силові впливи, прикладені до нижнього контуру оболонки; її верхній контур жорстко закріплений. Така постановка завдання дозволяє враховувати спільну роботу елементів системи.

Відмінна особливість конструкцій, що взаємодіють із ґрунтом, - те, що для їх перетворення на геометрично змінювану систему необхідне утворення пластичних шарнірів у декількох перетинах, що говорить про їх підвищену несучу здатність. Дослідження несучої здатності фундаментних конструкцій проводиться методом зростаючих навантажень; при цьому розглядається лише просте навантаження. Одночасно перевіряють стан (якщо не утворилися пластичні шарніри) компонентів системи «основа-фундамент» на кожному кроці збільшення зовнішніх навантажень.

По досягненні граничних значень контактних напружень на ґрунт в одному перерізі подальший розрахунок виконується без їх збільшення, тобто при нульовому значенні характеристик жорсткості основи.

Висновки. Одна з актуальних проблем проектування фундаментних конструкцій у складних ґрунтових умовах - це визначення граничних деформаційних впливів для певного виду фундаменту при заданих силових навантаженнях. Таку задачу можна розв’язувати, поступово збільшуючи деформаційні впливи на фундамент (збільшення кривизни, нахилу, осідань, розмірів уступу, діаметрів провалів). Фундаментні конструкції слід проектувати з такими розмірами, щоб відношення жорсткостей плити й основи відповідало найбільшій несучій здатності плити, у цьому випадку найповніше використовуються несучої здатності елементів системи.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Об’єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Введ. вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідних ґрунтах : ДБН В. 1.1.-5-2000. – Чинні від 2000-07-01. – Вид. офіц. – Київ, 2000. – Ч. 1 : Будинки і споруди на підроблюваних територіях. – 70 с. ; Ч. 2 : Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. – 89 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Методические рекомендации по учету нелинейных свойств основания при расчете конструкций по реальным диаграммам деформирования грунта / С. Н. Клепиков, Ф. Н. Бородачева, А. В. Машкин, О. М. Романов, Я. И. Червинский, В. Е. Макиенко. – Киев : НИИСК Госстроя СССР, 1985. – 60 с.
4. Клепиков С. Н. Расчет конструкций на неупругом основании при сложном нагружении / С. Н. Клепиков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1983. – № 5. – С. 15-17.
5. Литвиненко А. Г. Результаты испытаний круглых железобетонных плит на упругом основании / А. Г. Литвиненко, В. И. Иваненко // Экспериментальные исследования инженерных сооружений. Методы, приборы, оборудование, метрологическое обеспечение : тез. докл. к V Всесоюзной конференции (Таллин, сентябрь 1981) / Науч.-исслед. ин-т стройконструкций. – Киев, 1981. – С. 27.
6. Обозов В. И. Опыт внедрения нелинейных методов расчета фундаментных конструкций / В. И. Обозов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 60 с.
7. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Ч. 3 : Башенные, транспортные и заглубленные сооружения, трубопроводы / Донецкий ПромстройНИИпроект Госстроя СССР, Науч.-исслед. ин-т стройконструкций Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1986. – 225 с.
8. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / Науч.-исслед. ин-т основания и подзем. сооружений им. Н. М. Герсеванова. – Москва : Стройиздат, 1984. – 263 с.
9. Синицын А. П. Расчет балок и плит на упругом основании за пределом упру гости : пособие для проектировщиков / А. П. Синицын. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Москва : Стройиздат, 1974. – 176 с.

REFERENCES

1. Minrehionbud Ukrayiny *Obiekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivel’nogo pryznachennia. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia:* DBN V.2.1-10-2009 [Objects of construction and industrial products for construction purposes. Bases and foundations of buildings

and structures. Bases and foundations of buildings. The main provisions of the design. SCN V.2.1-10-2009]. Kyiv, 2009, 107 p. (in Ukrainian).

2. *Zakhyst vid nebezpechnykh geologichnykh protsesiv. Budynky i sporudy na pidrobliuvanykh terytoriiakh i prosidnykh gruntakh:* DBN V. 1.1.-5-2000. V 2-kh ch. [Protection from dangerous geological processes. Buildings and constructions on undermined territories and shrinking soils: SCN V. 1.1.-5-2000. In 2 part]. Kyiv, 2000. (in Ukrainian).
3. Klepikov S.N., Borodacheva F.N., Mashkin A.V., Romanov O.M., Cpervinskiy Ya.I. and Makienko V.E. *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu nelineynykh svoystv osnovaniya pri raschete konstruktsiy po real'nym diagrammam deformirovaniya grunta* [Guidelines for the accounting of non-linear properties in the the calculation of structures of the real diagram of soil deformation]. Kiev: NIISK Gosstroya SSSR, 1985, 60 p. (in Russian).
4. Klepikov S.N. *Raschet konstruktsiy na neuprugom osnovanii pri slozhnom nagruzhenii* [Calculation of constructions on inelastic base under complex loading]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Base, foundation, mechanins of soil]. 1983, no 5, pp. 15-17. (in Russian).
5. Litvinenko A.G. and Ivanenko V.I. *Rezul'taty ispytaniy kruglykh zhelezobetonnykh plit na uprugom osnovanii* [Results of tests of round concrete slabs on an elastic foundation]. *Eksperimental'nye issledovaniya inzhenernykh sooruzheniy. Metody, pribory, oborudovanie, metrologicheskoe obespechenie :* [Experimental study of engineering structures. Methods, devices, equipment, metrological providing]. Nauch.-issled. in-t stroykonstruktsiy [Science and research institute of construction structures]. Kiev, 1981, p. 27. (in Russian).
6. Obozov V.I. *Opyt vnedreniya nelineynykh metodov rascheta fundamentnykh konstruktsiy* [Experience of introduction of nonlinear methods of calculation of foundation structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984, 60 p. (in Russian).
7. Donetskiy Promstroy NIIproekt Gosstroya SSSR and Nauch.-issled. in-t stroykonstruktsiy Gosstroya SSSR. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh territoriyakh. Ch. 3. Bashennye, transportnye i zaglublennye sooruzheniya, truboprovody* [Guidelines for the design of buildings and structures on undermined territories. Part 3: Tower, transport and deeped structures, pipelines]. Moscow: Stroyizdat, 1986, 225 p. (in Russian).
8. Nauch.-issled. in-t osnovaniya i podzem. sooruzheniy im. N.M. Gersevanova. *Rukovodstvo po proektirovaniyu plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy i sooruzheniy bashennogo tipa* [Guidelines on design slab foundation of framed buildings and structures of tower type]. Moscow: Stroyizdat, 1984, 263 p. (in Russian).
9. Sinitsyn A.P. *Raschet balok i plit na uprugom osnovanii za predelom uprugosti: posobie dlya proektirovshchikov* [Calculation of beams and plates on elastic foundation beyond elasticity: A guide for planners]. Izd. 2-e [2-d edition]. Moscow: Stroyizdat, 1974, 176 p. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 15.03.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Є. А. Єгоров

Надійшла до редколегії: 16.04.2015 р. Прийнята до друку: 24.04.2015 р

УДК 624.154.5

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВЛАШТУВАННЯ НАБИВНИХ ПАЛЬ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ

ЗОЦЕНКО М. Л.[1], *д. т. н, проф.,*
ВИННИКОВ Ю. Л.[2], *д. т. н, проф.,*
СЄДІН В. Л.[3*], *д. т. н, проф.*
[1] Кафедра видобування нафти і газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий пр., 24, Полтава, 36011, Україна, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: zotcenco@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1886-8898.
[2] Кафедра видобування нафти і газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий пр., 24, Полтава, 36011, Україна, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: vynnykov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-9936.
[3*] Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243.

Анотація. Постановка проблеми. Набивні палі у пробитих свердловинах (НППС) вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони за рахунок витиснення ґрунту в об'ємі трамбівки і втрамбованого матеріалу розширення. Спосіб їх зведення майже вилучає земляні й опалубні роботи, знижує витрати бетону й металу, прискорює нульовий цикл порівняно з фундаментами, що зводяться із вийманням ґрунту та заглибленням у ґрунт збірних елементів. Для подальшого впровадження НППС у геотехнічну практику потрібне розширення нормативної бази їх проектування та зведення. ***Мета роботи*** – удосконалити методи проектування та зведення НППС. Слід удосконалити метод визначення осідань НППС у складі ростверків, який би враховував взаємодію зон впливу паль. Найбільш достовірний шлях розв'язання цієї задачі – порівняння розрахованих і виміряних осідань натурних об'єктів. Необхідно довести коректність геомеханічних моделей плоскої та просторової версій методу скінчених елементів (МСЕ) щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі ростверків з основою. Слід виділити найбільш ефективні різновиди обладнання та технологічні схеми зведення НППС. ***Висновок.*** Наведено основні положення з проектування та влаштування НППС, що відповідають державним будівельним нормам України. Їх базу склали результати експериментальних і теоретичних досліджень, проведених авторами протягом тридцяти років, і досвід використання цих паль на об'єктах цивільного, промислового й сільськогосподарського будівництва. Обґрунтовано використання пружно-пластичної моделі з критерієм міцності Мора-Кулона для моделювання системи «ростверк – НППС – ґрунт». Моделюванням за плоскою та просторовою задачами МСЕ доведено, що при відстані між осями сусідніх паль до п'яти діаметрів коректним є вибір плоскої версії і спрощення розрахункової схеми до умовного стрічкового фундаменту. Удосконалено метод розрахунку НППС у складі стрічкових ростверків, за яким за ширину умовного фундаменту прийнято діаметр розширення палі, а глибина закладення відповідає його низу. Несучий шар основи під фундаментом складено з верхньої зони, достатнього ущільнення, і нижньої, природного ґрунту.

Ключові слова*: набивна паля у пробитій свердловині, ущільнена зона, осідання, напружено-деформований стан, пружно-пластична модель з критерієм міцності Мора-Кулона, метод скінчених елементів*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА НАБИВНЫХ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ

ЗОЦЕНКО Н. Л. [1], *д. т. н, проф.,*
ВИННИКОВ Ю. Л. [2], *д. т. н, проф.,*
СЕДИН В. Л.[3*], *д. т. н, проф.*
[1] Кафедра добычи нефти и газа и геотехники, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский пр., 24, Полтава, 36011, Украина, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: zotcenco@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1886-8898.
[2] Кафедра добычи нефти и газа и геотехники, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский пр., 24, Полтава, 36011, Украина, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: vynnykov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-9936.
[3*] Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562)47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

Аннотация. Постановка проблемы. Набивные сваи в пробитых скважинах (НСПС) отличает высокая степень использования несущей способности основания вследствие формирования в ней уплотненной зоны за

счет вытеснения грунта в объеме трамбовки и втрамбованного материала уширения. Способ их возведения почти исключает земляные и опалубочные работы, снижает расход бетона, металла, ускоряет нулевой цикл по сравнению с фундаментами, возводимыми с выемкой грунта и погружением в грунт сборных элементов. Для дальнейшего внедрения НСПС в геотехническую практику необходимо расширение нормативной базы их проектирования и возведения. ***Цель работы*** – усовершенствовать методы проектирования и возведения НСПС. Следует усовершенствовать метод расчета осадок НСПС в составе ростверков, который бы учитывал взаимодействие зон влияния свай. Самый достоверный путь решения этой задачи – сравнение расчетных и измеренных осадок натурных объектов. Необходимо доказать корректность геомеханических моделей плоской и пространственной версий метода конечных элементов (МКЭ) для расчетов совместной работы НСПС в составе ростверков з основанием. Следует выделить наиболее эффективные разновидности оборудования и технологические схемы возведения НСПС. ***Выводы.*** В работе представлены основные положения по проектированию и устройству НСПС, соответствующие строительным нормам Украины. Их базу составили итоги экспериментальных и теоретических исследований, проведенных авторами на протяжении тридцати лет, и опыт использования этих свай на объектах гражданского, промышленного и сельскохозяйственного строительства. Обосновано использование упруго-пластической модели с критерием прочности Мора-Кулона для моделирования системы "ростверк – НСПС – грунт". Моделированием в плоской и пространственной задачах МКЭ доказано, что при расстоянии между осями соседних свай до пяти диаметров корректен выбор плоской версии и упрощение расчетной схемы к условному ленточному фундаменту. Усовершенствован метод расчета НСПС в составе ленточных ростверков, в котором в качестве ширины условного фундамента принят диаметр уширения сваи, а глубина его заложения соответствует его низу. Несущий слой основания под фундаментом состоит из верхней зоны, достаточного уплотнения, и нижней, природного грунта.

Ключевые слова: *набивная свая в пробитой скважине, уплотненная зона, осадка, напряженно-деформированное состояние, упруго-пластическая модель с критерием прочности Мора-Кулона, метод конечных элементов*

MODERN METHODS OF DESIGN AND ARRANGEMENT OF RAMMING PILES IN PUNCHED HOLES

ZOTSENKO N. L. [1],*Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
VYNNYKOV Yu. L. [2],*Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
SEDIN V. L.[3*], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

[1] Department ofoil and gas industry and geotechnics, Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University, Pervomayskyavenue, 24, Poltava, 36011, Ukraine, tel. +38 (0532) 56-90-88, e-mail: zotcenco@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1886-8898.

[2] Department ofoil and gas industry and geotechnics, Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University, Pervomayskyavenue, 24, Poltava, 36011, Ukraine, tel. +38 (0532) 56-90-88, e-mail: vynnykov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-9936.

[3*] Foundation Engineering Department, State Higher Education Establishment «Pridneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

Summary. Problem statement. Ramming piles in punched holes (RPPH) differ of high degree of use of supporting capacity of base because of forming in it a compacted zone at the expense of displacement of soil in the volume rammer and compacted material of expansion. The method of their construction almost exclude excavation and formwork, reducing the consumption of concrete, metal, accelerates zero cycle compared to the foundations raised and excavation and immersion into the soil of precast elements. The expansion of the normative base, their design and construction should be for further implementation of of natural objects. The correctness of the geomechanical model of plane and spatial version of finite element method (FEM) should be proved for the calculation of cooperative work of RPPH as part of grillages with base. The most effective kinds of equipment and technological schemes of construction of RPPH should be noticed. **Conclusions**. The paper presents the main regulations on the design and the arrangement RPPH, corresponding of construction norms of Ukraine. The results of experimental and theoretical studies conducted by the authors for over thirty years, and the experience of the use of these piles on the objects of civil engineering, industrial and agricultural construction made their base. The use of the elastoplastic model with the criterion of Mohr-Coulomb strength for designing of the system "grillage -RPPH- soil" was substantiated. The designing in plane and spatial problems of FEM is proved that in the distance between the axes of adjacent piles up to five diameters is a correct choice of a flat version and simplifying of calculating scheme to the conventional strip foundation. An improved. The method of calculating of RPPH as part of grillages ribbon, where as the width of the foundation was taken a diameter of the broadening of the pile, and the depth of its inception corresponds to the bottom of it. The supporting layer of base under the foundation consist of upper zone, of sufficient sealing and a RPPH in geotechnical practice. The purpose is improvement of the methods of design and construction of RPPH. It should be improved the method of calculating the sediment of RPPH as part of grillages, considering the interaction of zones of influence of the piles. The most reliable way of solving this problem is a comparison of the calculated and measured of sinking lower of natural soil.

Key words: *ramming pile in punched hole, sealing zone, sinking, finite element method, intense and deformed state, elastoplastic model with Mohr-Coulomb strength criterion, the method of finite elements*

Постановка проблеми. НППС звичайно зводять шляхом пробивання свердловин у ґрунті циліндричною трамбівкою діаметром 0,4–0,6 м, масою 3–6 т із заповненням їх бетоном, залізобетоном, ґрунтобетоном, сумішшю щебеню й глини. Для збільшення опору навантаженню в їх нижній частині влаштовують розширення з утрамбованого щебеню чи жорсткого бетону. Розміри НППС складають: діаметр стовбура b_p = 400–800 мм; його висота h_k = 1,5–10 м; діаметр розширення 700–1200 мм. Ці палі вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони за рахунок витиснення ґрунту в об'ємі трамбівки і втрамбованого матеріалу розширення. В її межах значно підвищуються характеристики міцності й деформативності, ліквідуються властивості просідання ґрунту. Спосіб зведення НППС дає змогу майже повністю вилучити земляні й опалубні роботи, знизити витрати бетону в 1,2–2, металу – в 1,5–4, вартість і трудомісткість – у 1,5–2 рази, прискорити нульовий цикл в 1,5–2 рази порівняно з фундаментами, що зводяться із вийманням ґрунту та заглибленням у ґрунт збірних елементів [5; 6; 8].

НППС найбільш ефективні в лесових макропористих ґрунтах природної вологості, що поширені на 65 – 70 % території України, здебільшого на надзаплавних і вододільних терасах річок. Але набули апробації й схеми влаштування цих паль у замоклих ще до початку будівництва лесових ґрунтах.

Однак для подальшого впровадження НППС у геотехнічну практику є нагальна потреба в розширенні нормативної бази проектування та зведення НППС.

Аналіз публікацій. На базі натурних досліджень фахівці ПолтНТУ, НДІБК і ПДАБА створили інженерну методику розрахунку НППС [6; 7]. За нею параметри розширених і ущільнених зон цих паль визначають залежно від параметрів трамбівок, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями паль. Але потребують удосконалення методи визначення осідань НППС у складі ростверків, які б ураховували взаємодію зон впливу паль. Так, недолік методів визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за схемою одиночних паль із розширенням полягає у невраховуванні взаємного впливу сусідніх паль у складі ростверку, що зі зменшенням відстані між їх осями, особливо до 3-4 b_p, суттєво занижує порівняно з фактичними осіданнями основ.

Для удосконалення розрахунку осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за базове доцільно прийняти розв'язання плоскої задачі механіки ґрунтів. Найбільш достовірний шлях розв'язання такої задачі – у порівнянні розрахованих і виміряних осідань натурних об'єктів [1; 10].

Вісесиметрична версія МСЕ адекватно відображає напружено-деформований стан (НДС) масиву у процесі влаштування окремих паль з ущільненням ґрунту і їх наступній роботи [3; 4; 12]. Та ці рішення некоректно приймати для оцінювання взаємодії паль у складі ростверків із ґрунтом. Тому слід довести коректність геомеханічних моделей плоскої та просторової версій МСЕ щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі ростверків з основою [2; 4; 9; 11].

Слід також виділити найбільш ефективні різновиди обладнання та технологічні схеми зведення НППС.

Мета роботи – удосконалити методи проектування та зведення НППС для цивільних, сільськогосподарських і промислових будівель та споруд.

Виклад матеріалу. Практика довела, що для пробивання в ґрунті свердловин і втрамбовування в них жорсткого матеріалу оптимально застосовувати установки на базі: екскаваторів Е-10011, Е-5011, Е-652; пневмоколісного трактора Т-150К (рис. 1 *а*); автомобіля КрАЗ; СЕВМ-7, трактора С-100. Робочий орган трамбівки виконано зі сталевої труби із заповненням бетоном чи залізобетоном. Обладнання обслуговують два робітники: один із кабіни базового механізму здійснює його переміщення з точки на точку та скидання робочого органа трамбівки, а другий контролює пробивання свердловини й втрамбовування жорсткого матеріалу.

Розрахунок НППС проводять на центрально- та позацентрово- прикладені навантаження: за несучою здатністю матеріалу сто-

вбура (рис. 1, *б*), розширення (рис. 1, *в*), ущільненого ґрунту й підстильного природного ґрунту; за деформаціями – розрахунок абсолютних і нерівномірних осідань. Кількість паль у складі фундаменту (ростверку) призначають з максимального використання міцності їх матеріалу при допустимому розрахунковому навантаженні на палю, що визначають за властивостями основи. Оцінюючи взаємодію споруди, фундаменту й основи, формують просторову розрахункову модель системи "основа – фундамент – споруда" згідно з п. 8.4 [2].

а *б* *в*

Рис. 1. Мобільне обладнання для зведення НСПС (а), НППС (б) та її розширення (в) після натурних досліджень

Фундаменти з НППС проектують відповідно до конструктивної схеми споруди і розрізняють за конструкцією залежно від способу об'єднання у плані голів паль ростверком і розрахункової схеми: у складі стрічкових ростверків під стіни безкаркасних будівель; безростверкові фундаменти під стіни безкаркасних будівель з панелей і об'ємних блоків; одиночні палі з оголовком під окремо розташовані опори, фундаменти стаканного типу під колони для каркасних будівель, опори естакад; у кущі паль – під колони чи стовпи зі стовпчастим або плитним ростверком і розташуванням паль у плані для каркасних будівель. Відстань між осями сусідніх НППС має бути не менше ніж $3b_p$.

Розрахункову схему НППС наведено на рисунку 2. Форма розширення з жорсткого матеріалу – еліпсоїд обертання з напівосями h_{br} і r_{br} [7]. Співвідношення $¦ = h_{br}/r_{br}$ залежить від коефіцієнта водонасичення ґрунту S_r і об'єму втрамбованого жорсткого матеріалу V_{cr}, м^3.

Несучу здатність НППС визначають для випадку повного замокання ґрунту основи як найменшу з трьох розрахункових значень: за жорстким матеріалом, втрамбованим у дно свердловини; за ущільненим ґрунтом у межах ущільненої зони; за ґрунтом природного складу, що підстилає ущільнену зону. Опір ґрунту за бічною поверхнею стовбура палі з розширенням ураховують лише на ділянці h від верху стовбура до місця його перетину з поверхнею умовного конуса, твірною якого є лінія, що проведена через межу розширення в місці його найбільшого діаметра поперечного перерізу d_{br} під кутом $\bar{\cdot}/4$ до осі стовбура палі, де $\bar{\cdot}$ – середнє арифметичне значення кута внутрішнього тертя ґрунту, що залягає в межах указаного конуса [7].

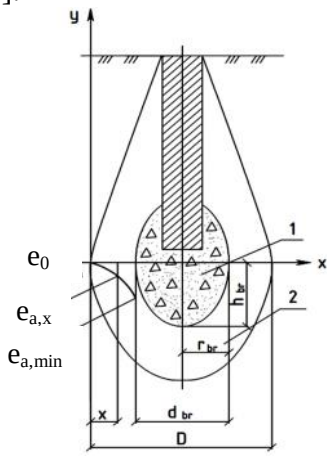


Рис. 2. Розрахункова схема НППС:
1 – розширення; 2 – ущільнена зона

Осідання одиночної палі з розширенням визначають за схемою двошарової основи [2]. У разі, коли НППС працюють у складі стрічкових ростверків, а відстань між їх

осями $l_w > 5b_p$, осідання їх основ визначають як для одиночної палі з розширенням з урахуванням взаємного впливу паль.

За тих же умов, але при $l_w \le 5b_p$, осідання основ паль визначають, наприклад, методом пошарового підсумовування чи ін., як для умовного стрічкового фундаменту шириною b_y, що дорівнює діаметру розширення d_{br} при однорядному розташуванні паль, і глибиною, яка відповідає його низу. Якщо палі розташовані у шаховому порядку чи в кілька рядів, ширина умовного стрічкового фундаменту складає $b_y = nl_n + d_{br}$, де l_n – відстань між осями рядів паль; n – к-ть цих рядів; d_{br} – діаметр поперечного перерізу розширення палі. При цьому враховують зону достатнього ущільнення під розширенням.

Модуль деформації ґрунту в межах зони достатнього ущільнення під розширенням h_s складає $3E$ (E – модуль деформації ґрунту природного складу). У розрахунках осідань основ НППС модуль деформації замоклих лесових ґрунтів приймають за компресійними дослідами без підвищувальних коефіцієнтів.

Розраховуючи НППС у котлованах глибиною понад 5 м, ураховують ефект повторного навантаження, за якого в межах напружень від вийнятого ґрунту приймають модулі пружності ґрунту основи [2].

Розрахунок за деформаціями на спільну дію вертикальних, горизонтальних і моментних навантажень виконують за [2]. Горизонтальні та моментні навантаження, що діють на ростверк, який об’єднує кілька НППС, можна приймати рівномірно розподіленими між усіма палями.

Розрахунок НППС за деформаціями основ для споруд класу СС2, як правило, виконують у складі загальних розрахункових схем, в нелінійній постановці із застосуванням адекватних моделей ґрунтової основи та числових методів розрахунку. Розрахункову модель НППС представляютьяк систему «ростверк – НППС – основа». Вона повинна враховувати їх просторову жорсткість. Палі, розширення, ростверки подають як скінченні елементи деформованого твердого тіла, а ущільнену зону й ґрунт – як скінченні елементи за пружно-пластичною теорією.

Схему основи при використанні як її моделі пружно-пластичного середовища задають як суцільний напівпростір, поділений на скінченні елементи. Його розмір у схемі приймають за умови виключення впливу умов закріплення на його межах на результати розрахунку. Бічні межі розрахункової зони (у просторовій задачі – паралелепіпед) приймають на достатній відстані від паль для максимального зменшення її впливу за умови заборони горизонтальних переміщень, концентрації напружень й ущільнення ґрунту на контакті з межею зони. Верхню межу зони розміщують на рівні поверхні землі. Нижня межа зони відповідає глибині межі стислої товщі основи НППС. Приклад скінченноелементної моделі системи "стрічковий ростверк – НППС – основа" подано на рисунку 3.

Модель пружно-пластичної основи характеризують: при навантаженні до напружень, які відповідають міцності ґрунту, його модуль деформації; із досягненням напружень, відповідних міцності ґрунту, – умовний модуль деформації (до 0,001 модуля деформації); при розвантаженні й при повторному навантаженні до напружень, з яких розвантажували, – модуль пружності (лінійна залежність між напруженнями та пружною деформацією ґрунту); коефіцієнт поперечної деформації в стадії, близькій до руйнування ґрунту; питоме зчеплення c і кут внутрішнього тертя ґрунту φ (табл.) [9].

Для урахування ефекту неоднорідності ущільнення середовища від улаштування НППС у межах скінченного елемента чи їх груп зони впливу навколо палі параметри ґрунту (E, φ, c) допускається визначати за рівняннями взаємозв’язку залежно від його коефіцієнта пористості e [7].

Визначення несучої здатності НППС за за даними польових випробувань проводять згідно з нормами [2]. Так, за поодиноке значення граничного опору НППС $F_{u.n}$ вдавлювальному навантаженню приймають те, за дії якого паля, яку випробовують, досягає осідання S

$$S = ¶S_{u.mt}\,, \qquad (1)$$

де $S_{u.mt}$ – граничне значення середнього осідання будівлі (споруди), яку проектують, яке встановлюють за додатком И [2]; ξ – ко-

ефіцієнт переходу від граничного значення середнього осідання будівлі $S_{u.mt}$ до осідання палі, отриманий під час статичних випробувань з умовною стабілізацією осідання. Коефіцієнт ξ залежить від коефіцієнта водонасичення ґрунту основи S_r при випробуванні НППС

$$\xi = 0{,}8S_r - 0{,}2. \qquad (2)$$

Вираз (2) отримано з аналізу результатів тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на НППС [1; 7].

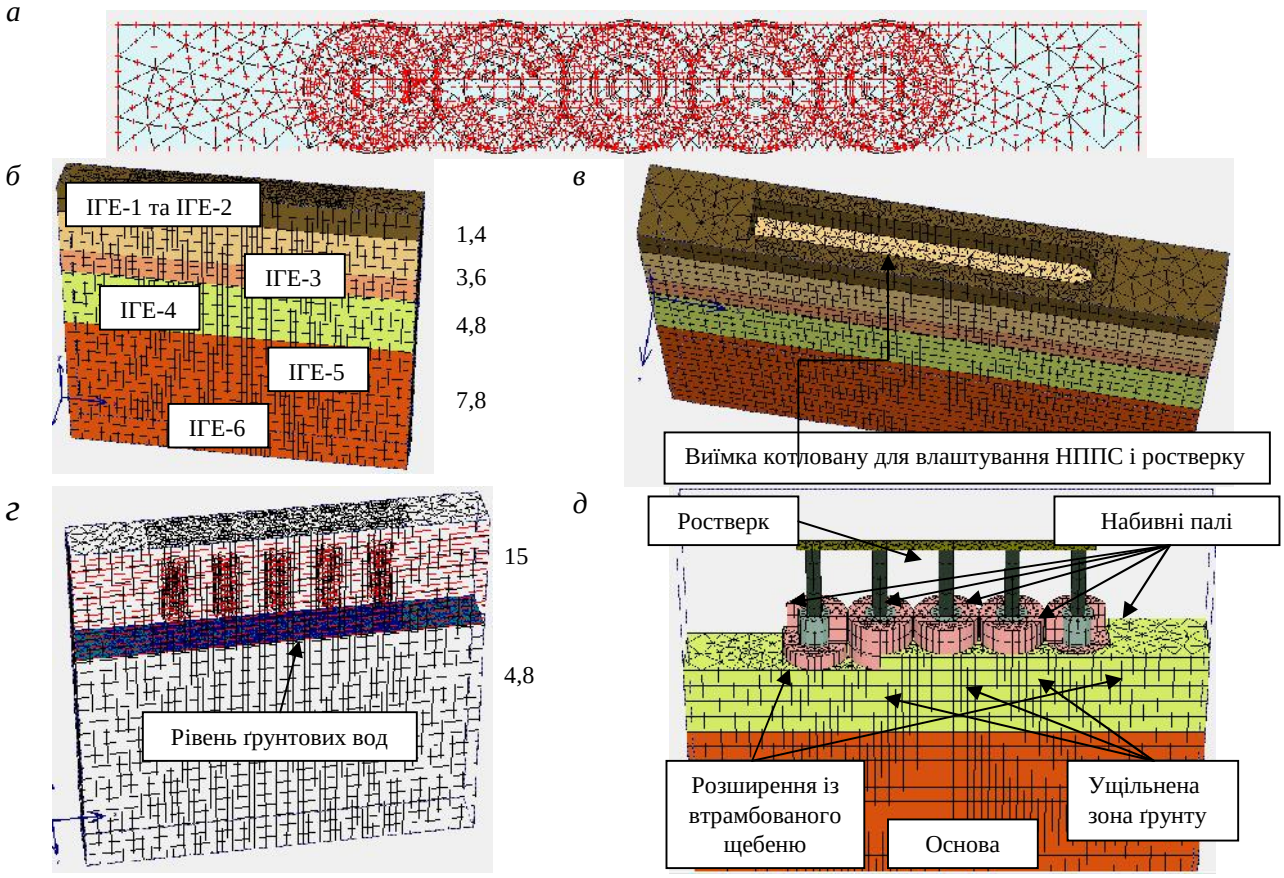


Рис. 3. Скінченноелементна модель системи "стрічковий ростверк – НППС – основа": а – 2D скінченноелементна сітка; б – 3D скінченноелементна сітка; в – на стадії виїмки ґрунту; г – рівень ґрунтових вод; д – улаштування НППС і ростверку; ІГЕ-1…ІГЕ-6 – інженерно-геологічні елементи, на які розбито основу

Таблиця

Моделі та фізико-механічні властивості елементів системи "стрічковий ростверк – НППС – основа"

№ ІГЕ, матеріал	Модель	Питома вага		Зчеплення *c*, кПа	Кут внутріш-нього тертя φ,°	Модуль деформації *E*, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
		ґрунту (бетону) γ, кН/м^3	замоклого ґрунту γ, кН/м^3				
1, 2	MCDrained	15	17	10	10	5	0,30
3	MCDrained	17,2	18	13	20	9	0,35
4	MCDrained	17,6	17,6	17	20	11	0,35
5	MCDrained	18,2	18,2	8	19	6	0,35
6	MCDrained	18,9	18,9	16	21	14	0,35
Ущільнена зона	MCDrained	19	19	20	30	18	0,30
Розширення	MCDrained	22	22	1	50	50	0,2
Стовбур	Linear Elastic	25	-	Non-porous		$2{,}3\cdot10^4$	0,2
Ростверк	Linear Elastic	25	-	Isotropic		$2{,}3\cdot10^4$	0,2

Оптимальний термін відпочинку НППС після його зведення до статичного випробування *T* визначають за формулою:

$$T = A\cdot(1+C\cdot A_{zi})(1+I_L)^2, \qquad (3)$$

де A_{zi} – площа поперечного перерізу зони поширення ущільнення НППС, м^2;

$$A_{zi} = \pi D^2/4 - A_{br}, \qquad (4)$$

де D – діаметр зони поширення ущільнення, м [7]; I_L – показник текучості ґрунту, в якому розташоване розширення; A, C –

емпіричні коефіцієнти; A = 12,5 доби; $C=0,5$ м ^{2}.

У процесі дослідницьких робіт визначають:

– кількість ударів трамбівки, необхідних для пробивання свердловини;

– кількість ударів трамбівки, необхідних для втрамбовування кожної порції жорсткого матеріалу в розширення, а також контрольні відмови трамбівки в кінці пробивання свердловини та утворення розширення;

– оптимальну висоту скидання трамбівки при пробиванні свердловини і для втрамбовування жорсткого матеріалу в розширення;

– мінімально допустиму відстань між двома сусідніми свердловинами, які влаштовують у конкретних ґрунтових умовах;

– за необхідності параметри ґрунту ущільненої зони (ρ, ρ_d, w, φ, c, E);

– за необхідності-розміри розширення та зони ущільнення ґрунту.

Висновки. Отже, наведені основні положення з проектування та влаштування НППС відповідають вимогам державних будівельних норм України [2], зокрема:

1. Обґрунтовано використання пружно-пластичної моделі з критерієм міцності Мора-Кулона для моделювання системи "стрічковий ростверк – НППС – ґрунт". Моделюванням за плоскою та просторовою задачами МСЕ доведено, що при відстані між осями сусідніх паль до п’яти діаметрів коректним є вибір плоскої версії і спрощення розрахункової схеми до умовного стрічкового фундаменту.

2. Удосконалено методику визначення осідань основ будівель на НППС, згідно з якою за ширину умовного стрічкового фундаменту прийнято діаметр розширення палі, глибина закладення відповідає його низу. Несучий шар основи під цим фундаментом складено з верхньої зони, достатнього ущільнення, і нижньої, природного ґрунту. Модуль деформації в зоні ущільнення приймають як три його величини природного ґрунту. Модуль деформації замоклих лесових ґрунтів визначають за компресійними дослідами без підвищувальних коефіцієнтів.

3. Удосконалено методику визначення несучої здатності НППС за даними польових випробувань.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Винников Ю. Л. Результати тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах за умов замоклих лесових грунтів / Ю. Л. Винников, І. В. Мірошниченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 61 : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – С. 88-93.
2. Об’єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Введ. вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Зоценко Н. Л. Современная практика моделирования взаимодействия фундаментов с уплотненными основаниями при их возведении и последующей работе / Н. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников // Численные методы расчетов в практической геотехнике : сб. статей междунар. научн.-техн. конф. 1-3 февраля 2012 г. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Санкт-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т, Рос. акад. архитектуры и строит. наук, Рос. о-во по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 164-171.
4. Клованич С. Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики / С. Ф. Клованич. – Запорожье : Запорожье, 2009. – 400 с.
5. Крутов В. И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В. И. Крутов, А. С. Ковалев, В. А. Ковалев. – Москва : Изд-во АСВ, 2013. – 544 с.
6. Определение форм и размеров уширений и зон уплотненного грунта в пробитых скважинах / Н. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, В. И. Коваленко, П. Н. Омельченко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1989. – № 5. – С. 2-4.
7. Посібник з проектування та влаштування набивних паль у пробитих свердловинах / [М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, А. М. Павліков, С.В. Біда, М. О. Харченко] ; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка, Держ. н.-д. ін-т буд. конструкцій. – Київ : Сталь, 2014. – 70 с.
8. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / В. А.Ильичев, Р. А. Мангушев, А. Н. Богомолов, Г. Г. Болдырев, А. Л. Готман ; под ред. В. А. Ильичева, Р. А. Мангушева. – Москва : Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
9. Харченко М. А. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния системы «ленточный ростверк – набивные сваи в пробитых скважинах – основание» / М. А. Харченко, Ю. Л. Винников,

И. В. Мирошниченко // Инженерные подходы к решению геотехнических задач : сб. науч. тр. посвящ. 80-летию К. Ш. Шадунца / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2013. – С. 93-102.
10. Piling Engineering / K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson. – London : Taylor and Francis, 2009. – 408 p.
11. Brinkgreve R. B. J. Plaxis 3D Foundation. Reference Manual. Version 1.5 / R. B. J. Brinkgreve, W. Broere ; Delft University of Technology. – 2006. – Режим доступа: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xygOeHoaFA4J:www.terrasol.fr/sites/default/files/logiciels/fichiers_associes/Tutorial_Manual_3DFoundationv15.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl= ua.
12. Zotsenko N. Designing the compacted subsoil's using mathematical simulation method / N. Zotsenko, Y. Vynnykov // Active geotechnical design in infrastructure development : proceedings. of XIIIth danube-european conference on geotechnical engineering, 29-31may, Ljubljana, Slovenia. Vol. 2 : Papers. – Ljubljana, 2006. – P. 385-390.

REFERENCES

1. Vynnykov Yu.L. and Miroshnychenko I.V. *Rezultaty tryvalykh geodezychnykh sposterezhen za osidanniamy budivel na nabyvnykh paliakh u probytykh sverdlovynakh za umov zamoklykh lesovykh gruntiv* [Results of long geodesic observations of subsidence buildings on tamped areas in punched holl in wet loess soil]. *Stroytel'stvo, materyalovedenye, mashynostroenye* [Construction, materials science, mechanical engineering], *vyp. 61: Innovatsyonnye tekhnolohyy zhyznennoho tsykla obъektov zhylyshchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya.* [Vol. 61: Innovative technology of life cycle of housing and civil objects, industrial and transport purposes]. PGASA. Dnepropetrovsk, 2011, p. 88-93. (in Ukrainian).
2. Minrehionbud Ukrayiny. *Obiekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivelnogo pryznachennia. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia: DBN V.2.1-10-2009.* [Objects of construction and industrial products of construction purposes. Bases and foundations of buildings and structures. Bases and foundations of structures. The main decree of the design: SCN V.2.1-10-2009]. Kyiv, 2009, 107 p. (in Ukrainian).
3. Zotsenko N.L. and Vinnikov Yu.L. *Sovremennaya praktika modelirovaniya vzaimodeystviya fundamentov s uplotnennymi osnovaniiami pri ikh vozvedenii i posleduyuschey rabote* [Modern practice of modeling the interaction of the foundation with compacted bases during their construction and subsequent operation]. *Chislennye metody raschetov v prakticheskoy geotekhnike* [Numerical calculation methods in practical geotechnical]. Sankt-Peterburg, 2012, pp. 164-171. (in Russian).
4. Klovanich S.F. *Metod konechnykh elementov v nelineynykh zadachakh inzhenernoy mekhaniki* [Method of final elements in nonlinear problems of mechanical engineering]. Zaporozh'e, 2009, 400 p. (in Russian).
5. Krutov V.I., Kovalev A.S. and Kovalev V.A. *Proektirovanie i ustroystvo osnovaniy i fundamentov na prosadochnykh gruntakh* [Design and appliance of bases and foundations on subsiding soils]. Moscow: Izd-vo ASV, 2013, 544 p. (in Russian).
6. Zotsenko N.L., Vinnikov Yu.L., Kovalenko V.I. and Omel'chenko P.N. *Opredelenie form i razmerov ushireniy zon uplotnennogo grunta v probitykh skvazhinakh* [Determination of shapes and sizes of broadening areas of compacted soil in the punched holes]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*[Grounds, foundations and mechanics of soil]. 1989, no. 5, pp. 2-4. (in Russian).
7. Zotsenko M.L., Vynnykov Yu.L., Pavlikov A.M., Bida S.V. and Kharchenko M.O. *Posibnyk z proektuvannia ta vlashtuvannia nabyvnykh pal u probytykh sverdlovynakh* [Manual of design and appliance of ramming piles in punched holes]. Kyiv: Stal', 2014, 70 p. (in Ukrainian).
8. Il'ichev V.A., Mangushev R.A., Bogomolov A.N, Boldyrev G.G. and Gotman A.L. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya* [Reference book of geotechnics. Grounds, foundations and underground structures]. Moscow: Izd-vo ASV, 2014, 728 p. (in Russian).
9. Kharchenko M.A., Vinnikov Yu.L. and Miroshnichenko I.V. *Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya sistemy «lentochny rostverk – nabivnye svai v probitykh skvazhinakh – osnovanie»* [Numerical modeling of intence and deformed state of the sistem "Ribbon grillage ramming piles in punched holes - base"]. *Inzhenernye podkhody k resheniyu geotekhnicheskikh zadach* [Engineering approaches to solving of geotechnical tasks]. Krasnodar, 2013, pp. 93-102. (in Russian).
10. Fleming K., Weltman A., Randolph M. and Elson K. *Piling Engineering*. London: Taylor and Francis, 2009, 408 p.
11. Brinkgreve R.B.J. and Broere W. *Plaxis 3D Foundation. Reference Manual*. *Version 1.5*. Delft University of Technology. 2006. Available at: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xygOeHoaFA4J:www.terrasol.fr/sites/default/files/logiciels/fichiers_associes/Tutorial_Manual_3DFoundationv15.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl= ua.
12. Zotsenko N. and Vynnykov Y. *Designing the compacted subsoil's using mathematical simulation method. Active geotechnical design in infrastructure development : proceedings. of XIIIth danube-european conference on geotechnical engineering, 29-31may, Ljubljana, Slovenia*. Vol. 2. Ljubljana, 2006, pp. 385-390.

Стаття рекомендована до друку 15.03.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Є. А. Єгоров
Надійшла до редколегії: 10.07.2015 р. Прийнята до друку: 24.07.2015 р.

УДК 711.582

СТИМУЛЮВАННЯ БУДІВНИЦТВА ДОСТУПНОГО ЖИТЛА ШЛЯХОМ РЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ

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

Анотація. Мета. Розроблення пропозицій щодо стимулювання будівництва доступного житла шляхом реформування системи управління будівельним комплексом. Виявлення проблем планування будівництва у великих містах. Аналіз формування структури управління будівельним комплексом у радянські часи та у перехідний період. Виявлення сучасних актуальних соціально-економічних проблем управління будівельною діяльністю. Наводяться пропозиції щодо удосконалення методів управління будівництвом у містах України**.** ***Висновок***. Розкриваються методи управління будівельним комплексом у країнах із ринковою економікою з позицій створення доступного житла. ***Наукова новизна.*** У складі містобудівної документації, окрім нормативів загального використання територій міста (щільність населення мікрорайону), пропонується встановлювати граничні параметри будівельного освоєння земельних ділянок: відсоток забудови та коефіцієнт граничної поверхової площі. ***Практична значимість.*** Основою управління та організації будівництва є нормування будівельного використання територій для спорудження масового економічного житла за кошти населення та інвесторів із забезпеченням комфортності житла відповідно до державних будівельних норм.

Ключові слова*:* *житлове будівництво; доступне житло; соціальне житло; будівельне освоєння земельної ділянки; вартість*

СТИМУЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ ПУТЕМ РЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

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

Аннотация. Цель. Разработка предложений по стимулированию строительства доступного жилья путем реформирования системы управления строительным комплексом. Выявление проблем планирования строительства в крупных городах. Анализ формирования структуры управления строительным комплексом в советские времена и в переходный период. Выявление современных актуальных социально-экономических проблем управления строительной деятельностью. Предложения по усовершенствованию методов управления строительством в городах Украины. ***Выводы.*** Раскрываются методы управления строительным комплексом в странах с рыночной экономикой с позиции создания доступного жилья. ***Научная новизна.*** В составе градостроительной документации, кроме нормативов общего использования территорий города (плотность населения микрорайона), предлагается устанавливать предельные параметры строительного освоения земельных участков: процент застройки и коэффициент предельной поверхностной площади. ***Практическая значимость.*** Основой управления и организации строительства является нормирование строительного использования территорий для строительства массового экономичого жилья за средства населения и инвесторов при обеспечении комфортности жилья в соответствии с государственными строительными нормами.

Ключевые слова: *жилищное строительство; доступное жилье; социальное жилье; строительное освоение земельного участка; стоимость*

STIMULATION OF CONSTRUCTION OF AFFORDABLE HOUSING BY REFORMATION OF A CONSTRUCTION COMPLEX MANAGEMENT SYSTEM

BRONEVYTSKYI S. P., *Cand. Sc. (Tech.)*
Municipal organization «Institute of General plan of Kyiv», 32, Chreshchatyk str., Kyiv 01001, Ukraine, tel. +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

Summary. Purpose. Development of offers on stimulation of construction of affordable housing by reformation of a construction complex management system. **Methodology**. The revelation of the problems of planning of construction in large cities. The analysis of forming of structure of a build complex management in soviet times and in a

transitional period. The revelation of the modern, actual, socio-economic problems of the construction activity management. Proposition on the improvement of methods of construction management in cities of Ukraine. ***Results.*** The methods of a construction complex management in countries with a market economy as for building of affordable housing are shown. ***Originality***. In composition of a town-planning documentations, except for the norms of the common use of territories of city (density of population of micro region), the maximum parameters of a construction examining of land areas are proposed to determine: building percent and coefficient of maximum superficial area. ***Practical value***. The principle of management and organization of construction is norms of a build use of territories for building of mass affordable housing for funds of population and investors while providing of the comfort of housing in accordance with state construction norms.

Key words: *house building; affordable housing; social housing; building analyzing of land area; cost*

Постановка проблеми. В умовах обмеженості територіальних та енергетичних ресурсів великих міст виникли нові гострі проблеми організації та управління будівництвом. Хоча обмеженість ресурсів надала позитивний стимул для розвитку інноваційних технологій в будівництві, проте зумовила втрату соціально-економічного значення будівництва у сталому розвитку міст.

У суспільстві не сформовано розуміння ролі будівельної галузі як системного виконавця глобальних народногосподарських завдань ресурсо- та енергозбереження, створення комфортного економічного житла, доступного для кожної родини [1]. Отже, постало завдання пошуку принципово нових системних методів управління будівельним комплексом у контексті організації будівництва доступного житла [2].

Динаміка і масштаб обсягів будівництва і необхідних інновацій насамперед закладаються в генеральних планах населених пунктів, де визначаються потреби в обсягах і якості будівель і споруд з урахуванням загальних концепцій функціонально-просторового розвитку.

Параметри забудови територій закладаються у плані зонування та детальному плані території, проте на даний час у документації та державних нормах не визначаються параметри будівельного освоєння земельних ділянок.

Наразі в практиці житлового будівництва виділяються два основні типи: будівництво великих обсягів енергетично- і ресурсоекономічного масового житла для забезпечення основної маси населення і будівництво невеликих обсягів елітарного житла згідно з індивідуалізованими потребами власника.

Перший тип включає в себе дві категорії: житло економ-класу, відповідне можливостям населення з доходом середнього та нижче середнього рівня, яке складає в містах України 80 % загальних обсягів житлового будівництва, та житло для соціальних потреб, що будується за рахунок бюджетних коштів і складає не більше 10-15 %. Обсяги елітарного житла класу люкс складають не більше 10 %.

Таким чином, головним завданням управління та організації будівництва є нормування будівельного використання територій для будівництва масового економічного житла за кошти населення та інвесторів. При цьому повинна бути забезпечена комфортність житла згідно з державними будівельними нормами.

Аналіз досліджень та публікацій. Окреме місце у будівництві займають об’єкти представницького класу: адміністративні та корпоративні будівлі, унікальні комплекси культурно-громадського призначення – театри, музеї, виставки, спортивні арени, великі транспортні споруди – автотраси, траси швидкісного електротранспорту, мости та естакади, підземні споруди тощо.

Об’єкти нового промислового будівництва досить уніфіковані і зумовлюються, перш за все, ресурсозберігальними, технологічними, транспортними, пожежними та санітарно-екологічними вимогами.

Кожна з перерахованих категорій будівництва вимагає своїх управлінських моделей, інноваційно-технологічних підходів і методів організації з істотною відмінністю параметрів дохідності, рентабельності та ресурсоємності.

В умовах обмеженості ресурсів домінуючого значення набуває реконструкція деградованих міських територій та освоєння невеликих будівельних майданчиків площею

до 15 га як основна переважальна концепція об'ємно-просторового розвитку міст.

У цьому зв'язку втратила актуальність організація забудови великих масивів індустріального житлового будівництва з обсягами житла понад 3 млн м^2, характерна для попереднього періоду [6–14].

Мета статті. В умовах економії енергоресурсів і експлуатаційних витрат замість відкритих вільно сполучених просторів житлових груп найбільшим попитом споживачів користується організація дрібноквартальної забудови із замкнутими дворами. Освоєння під озеленення та благоустрій покрівлі і терас підземних паркінгів, зростання тарифів ставить нові завдання щодо захисту від підтоплення, використання локальних та нетрадиційних джерел енергії, енергонакопичувальних конструкцій, що потребує інноваційних рішень.

Виклад матеріалу. Структура управління будівельним комплексом, сформована у радянський та перехідний період, виявилася нездатною для вирішення цих суспільних завдань.

У 30-ті роки минулого століття головним народно-господарським завданням була індустріалізація країни. Організація галузевих міністерств, спеціалізованих на підготовці кадрів будівельного комплексу, та створення будівельної бази для спорудження підприємств важкої промисловості, залізничного транспорту, енергетики, гідротехнічних вузлів, оборонного комплексу та інших провідних галузей народного господарства була зорієнтована на реалізацію завдань індустріалізації країни в умовах адміністративно-командної системи. Управління будівництвом здійснювалося з жорстко централізованим розподілом бюджетних та матеріально-технічних ресурсів, підзвітністю організацій перед організаціями вищого рівня, регулярним, періодичним і поточним контролем.

У 1940-ві - на початку 1950-х років найгострішою проблемою стало відновлення в найкоротші терміни зруйнованої інфраструктури країни, відповідно була реорганізована структура управління, створено мобільні будівельні трести-майданчики, мостові загони тощо.

Після завершення основних відновлювальних робіт у 1950-1960-ті роки набула політичної гостроти проблема переселення громадян із бараків, підвалів і комунальних квартир. Для її вирішення будівельна галузь повинна була забезпечити збільшення в кілька разів обсягів житлового будівництва і скорочення термінів уведення в експлуатацію. Ця проблема вирішувалася шляхом планування великих масивів масового житлового будівництва, індустріалізації будівельного виробництва та створення централізованої системи управління будівельним комплексом.

Єдина технічна політика передбачала затвердження державних будівельних норм, технічних умов, стандартів, типових проектів, узгодження проектно-планувальної документації та проектно-кошторисних робіт, виключення так званих «надмірностей» у проектах і кошторисах, всебічне скорочення вартості і строків будівництва.

Не допускалося застосування індивідуальних проектів за наявності типових. Узгодження індивідуальних проектів і проектів будівель підвищеної поверховості здійснювалося тільки центральним органом. Була створена система державних профільних науково-дослідних і проектних інститутів у Москві з філіями в Києві та адміністративних центрах деяких інших республік. Система вищих і середніх спеціальних навчальних закладів забезпечувала як розробку типових проектів будівель, так і підготовку кадрів інженерно-технічного і виробничого персоналу проектних і будівельних організацій.

Сформований таким чином механізм адміністративно-командного управління будівельним комплексом був здатний в найкоротші терміни реалізовувати масове індустріальне будівництво великих житлових масивів у всіх населених пунктах країни.

Інструкція про склад, порядок розробки, погодження та затвердження схем і проектів районного планування, планування і забудови міст, селищ і сільських населених пунктів ВСН 38-82 встановила необхідний склад проектно-планувальної документації: гене-

ральних планів міських і сільських поселень, проектів детального планування, схем районного планування. Система двохстадійного проектування дозволила вирішити проблему здешевлення вартості і скорочення термінів розробки проектно-кошторисної документації.

Інструкція СН 531-80 про склад, порядок розробки та затвердження схем теплопостачання населених пунктів із сумарним тепловим навантаженням до 116 МВт (100 Гкал/год) зорієнтувала будівельну галузь і комунальне господарство міст на будівництво великих централізованих джерел тепла, виключила застосування локальних малих котелень у будівельній практиці.

Проте вже у 80-ті роки почали проявлятися недоліки такої системи управління. У 1987 році організації в структурі будівельного комплексу були переведені на самофінансування, однак без можливостей вільного прийняття рішень.

Положення про порядок організації, завдання та функції групи технічного нагляду та замовника-забудовника будівництва підрядним способом, що визначило функції управління капітального будівництва у складі виконкомів як служби єдиного замовника, на практиці заблокувало формування конкурентного середовища в будівництві.

Створення у центральному апараті відділів технічного нормування та стандартизації, типового проектування, організації проектно-вишукувальних робіт, кошторисних норм і ціноутворення в будівництві, будівельної індустрії, конструкцій і нових матеріалів сформувало механізм функціонування централізованої адміністративно-командної системи управління будівельним комплексом із реалізацією єдиної технічної політики.

За галузевим принципом у системі Держбуду управління будівництвом забезпечували: Міністерство спеціальних будівельних та монтажних робіт (Мінспецбудмонтаж), Міністерство будівельного, дорожнього та комунального машинобудування (Мінбудшляхмаш), Міністерство залізничного будівництва (Мінтранс) та інші. Так, наприклад, Мінспецбудмонтаж здійснював управління будівельними та монтажними роботами на промислових і цивільних об’єктах. У його підпорядкуванні були 224 трести, 274 промислові підприємства і 37 навчальних закладів для підготовки кадрів інженерно-технічного і виробничого персоналу будівельних організацій, а також наукові та проектні організації.

Для управління будівництвом у Сибіру, на Крайній Півночі і в інших регіонах країни створювалися територіальні та крайові міністерства.

Таким чином забезпечувалося централізоване управління будівельним комплексом за галузевим та територіальним принципами від територіального планування до будівельної організації та будівельного майданчика із централізованим розподілом технічних і фінансових ресурсів, поточним контролем і підзвітністю всіх підрозділів, освітніх, проектних і будівельних організацій [3].

Слід зазначити дуже важливу роль створення певних форм будівельно-монтажних організацій для виконання відповідних завдань. Основною формою будівельно-монтажних організацій (БМО) були трести і самостійні або у складі тресту будівельно-монтажні управління (БМУ, БУ тощо), а також госпрозрахункові дільниці – первинні самостійні виробничо-господарські одиниці, які безпосередньо здійснюють будівництво. Всі державні плани, розподіл матеріальних ресурсів формувалися для трестів. На рівні трестів вирішувалися питання техніко-економічного планування, договірні відносини, диспетчеризація, підготовка виробництва.

Деякі управлінські функції, в першу чергу постачання ресурсів, передавалися на вищі рівні главку, об’єднання або комбінату, тому у складі трестів були відсутні підсобні виробництва, транспорт, комунально-побутові служби. За характером договірних відносин можна виділити генпідрядні і субпідрядні трести, за видом виконуваної роботи – загальнобудівельні та спеціалізовані трести.

Загальнобудівельні трести-генпідрядники виконували основні види загальнобудівельних робіт (монтажні, кам’яні, бетонні та ін-

ші). Спеціалізовані трести виконували, як правило, один вид роботи або комплекс із декількох однорідних робіт (фундаментобудівні, оздоблювальні, електромонтажні, санітарно-технічні роботи тощо).

Поряд із технологічною спеціалізацією широко застосовувалася галузева спеціалізація за видами будівництва, наприклад, трести житлового, промислового, залізничного, шахтного та інших видів будівництва. Спеціалізовані організації, як правило, є субпідрядниками, але іноді виступають як генпідрядники (наприклад, трести фундаментобудування для ДБК) або виконують роботу за прямим договором із замовником.

За територіальним принципом трест-майданчик створювався для виконання великих обсягів будівельно-монтажних робіт на одному майданчику з виділенням виробництва на будівельних ділянках. Трести міського типу, наприклад, трест «Київміськбуд», виконували роботи в межах одного міста. Територіальні трести діяли в межах визначених районів.

Для виконання масового індустріального будівництва біли створені домобудівні комбінати (ДБК) – організаційна форма об'єднання будівельної організації та промислового підприємства, яка здійснювала будівельне виробництво індустріальними методами. Революційно інноваційним підходом цього періоду є деталізація будівельних серій, типізація деталей серії, їх конвеєрне виробництво.

При цьому ДБК спеціалізувалися на будівництві індустріальними методами з деталей власного виготовлення (великопанельних, об'ємно-блокових тощо) житлових та адміністративно-громадських будівель, спорудженні певної серії, багатосерійному виготовленні деталей, а іноді на виконанні окремих видів робіт (монтажних, оздоблювальних та інших) постійними колективами.

Треба зазначити, що структура управління будівельним комплексом і форми будівельно-монтажних організацій у свій час дозволили вирішити гостру народногосподарську і соціальну проблему – забезпечення населення економічним житлом, що споруджувалось індустріальними методами.

Ці організаційні форми управління будівництвом виявилися неефективними в умовах ринкової економіки та приватної власності на землю і нерухомість, нездатними залучати приватний сектор, оперативно реагувати на динамічні зміни потреб споживачів. Система управління не змогла забезпечити поширення енерго- і ресурсоекономічних інноваційних технологій, будівництво на малих майданчиках в умовах дефіциту вільних територій.

У структурі управління будівельним комплексом повністю були відсутні функції взаємозв'язків із населенням як головним споживачем продукції будівельного комплексу.

Після здобуття незалежності в 1990-і роки керівництво та контроль у сфері будівництва в Україні на першому етапі здійснював Державний комітет у справах містобудування і архітектури, далі перетворений на Держбуд України, а з 2004 р. – на Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України [3–5].

Сфера діяльності міністерства охоплює напрямки регіонального розвитку, будівництва та архітектури, житлово-комунального господарства. Сектор регіонального розвитку покликаний підготувати реформи адміністративно-територіального устрою та співпраці територіальних громад, децентралізації повноважень.

Сектор будівництва та архітектури забезпечує реалізацію політики в питаннях ціноутворення та експертизи у будівництві, регулювання розробки нормативної бази та містобудівної документації, технічних рішень проектів висотних будівель та інших складних об'єктів промислового і цивільного будівництва.

Сектор житлово-комунального господарства здійснює підготовку реформ тарифоутворення, утримання житлового фонду, підвищення якості питної води, розробку стандартів енергозбереження.

На місцевому рівні в областях та містах, місті Києві функціонують департаменти

(управління) містобудування і архітектури та департаменти житлового забезпечення. Скасовані служба єдиного замовника, підзвітність будівельних організацій, централізований розподіл фінансових і технічних ресурсів, що безумовно забезпечило певний ступінь свободи в прийнятті проектних рішень.

За рахунок коштів державного бюджету фінансується розробка будівельних норм, деяких державних програм, а також містобудівної документації державного рівня. В кінці 1990-х років і в подальший період були затверджені державні програми комплексної реконструкції застарілого індустріального житлового фонду та будівництва доступного житла. Проте їх практична реалізація майже не відбулася.

Іпотечні кредити, що не застраховані від інфляції, будівельні афери викликали серйозні соціальні конфлікти і недовіру населення до забудовників і банків.

Механізм управління будівельним комплексом у даний час обмежується рекомендаційними протокольними рішеннями колегій і засідань науково-технічної та архітектурно-містобудівної рад. Питання розглядаються з ініціативи місцевих органів архітектури (крім питань, за якими підрозділи міністерства виступають замовником). Скасовано процедуру узгодження містобудівної та проектної документації, застосування типових проектів не допускається Законом України «Про архітектурну діяльність».

Таким чином, структура управління реформується в напрямку децентралізації, однак не створила ефективного механізму доступності житла для населення, впровадження інноваційних ресурсозберігальних будівельних технологій, створення резерву комунального житлового фонду для оперативного розселення біженців в умовах надзвичайних ситуацій, воєнних дій тощо.

Будівельні організації перебувають поза сферою безпосереднього управління як центрального органу та місцевих органів містобудування та архітектури. Звітність перед органами статистики ведеться вибірково по окремих характеристиках, що не дозволяє провести належний аналіз розвитку будівельного комплексу. За відсутності фінансово-економічних стимулів будівельні компанії не зацікавлені у впровадженні інновацій.

Технічна політика міністерства проводиться через систему державних норм і національних стандартів, що регламентують склад і зміст містобудівної та проектної документації, вимоги до планування і забудови населених пунктів, житлових і громадських будинків, ціноутворення в будівництві, умов безпеки на будівельному майданчику, затрат палива та енергії, а також через установлення юридичної необхідності наявності затвердженої містобудівної документації. При цьому гострою проблемою залишається відсутність економічного і правового механізму реалізації генеральних планів та незрозумілість її завдань для широких верств населення.

Це спричинило надмірну політизацію питань її розробки та використання недобросовісними політичними опонентами як гасла передвиборних кампаній, збільшення будівельних ризиків.

Будівельні організації-генпідрядники не зацікавлені економічно у впровадженні інноваційних технологій, оскільки в основному спеціалізуються на ринкових питаннях маркетингу та продажу нерухомості. За відсутності прозорості значно поширилися будівельні афери, що підсилює протистояння населення і будівельників та негативно впливає на залучення інвестицій до будівельної сфери. Профінансувати обсяги, необхідні для забезпечення потреб у житлі, за рахунок бюджетних коштів нереально. Негативне ставлення до будівельної галузі перш за все пов’язане з недоступністю житла для більшості мешканців міст.

Таким чином, на новому витку розвитку знову постало головне соціальне завдання – забезпечити можливість для кожної родини придбати доступне ресурсоощадне економічне житло. Аналіз зарубіжної та національної демографічної структури свідчить про зростання кількості одноосібних домогосподарств та відповідне збільшення кількості квартир навіть при скороченні загальної чи-

сельності населення. Для досягнення соціального партнерства між органами влади, забудовниками та населенням необхідно спрямувати будівельну галузь на створення комфортного середовища проживання населення і одночасно економію матеріально-речовинних та енергетичних ресурсів шляхом упровадження інноваційних будівельних технологій та матеріалів.

В умовах стагнації чітко виявилися та збільшилися системні проблеми управління будівельним комплексом, а саме: надмірні будівельні ризики, відсутність системи їх страхування та недоступність кредитних ресурсів для будівельних організацій, непрозорість їх фінансової звітності, великі обсяги незавершеного будівництва та відсутність обігових коштів для його завершення, подорожчання собівартості будівництва (кошторисної вартості), відсутність державного регулювання співвідношення ціни продажу $1\ м^2$ відносно його кошторисної вартості, проблеми з підключенням побудованих будинків до інженерних комунікацій.

Країни ринкової економіки також зіткнулися з гострими соціальними проблемами недоступності житла для всіх верств населення, необхідністю оперативного вирішення житлової проблеми в кризових ситуаціях, оздоровлення деградованих міських районів та необхідністю ефективного реформування управління будівельним комплексом.

Наприклад, міністерство житлового будівництва і міського розвитку в США [10] здійснює фінансування та управління федеральними програмами житлового будівництва із задоволенням потреб у житлі в загальнонаціональному масштабі, наданням кожному громадянину рівних можливостей для отримання та придбання житла. На місцевому рівні розробляються плани зонування і детальні плани, що забезпечують просторову реалізацію цих програм. Міністерство веде федеральні програми: страхування іпотечної заборгованості, сприяння поліпшенню умов оренди житла для сімей з низьким рівнем доходу, державної національної асоціації іпотечного кредиту з випуску цінних паперів, боротьби з проявами дискримінації у житловій сфері та забезпечення принципу справедливості у цій сфері; захисту прав та інтересів покупців житла на ринку нерухомості тощо. Заохочується приватний сектор, здатний забезпечувати будівництво доступного житла, стимулюється створення змішаних підприємств (товариств) у сфері житлового будівництва за участю приватного та державного секторів, підприємницька активність державних організацій у сфері житлового будівництва. Крім того, фінансуються спеціальні федеральні програми тощо задоволення потреб у житлі індіанців та корінних жителів Аляски, відновлення житла в районах, постраждалих від стихійних лих. Таким чином, створено гнучкий правовий та фінансовий механізм реалізації будівельних програм як на федеральному, так і на місцевому рівнях, які враховують інтереси різних соціальних верств і етнічних груп, упровадження інноваційних ресурсо- та енергозберігальних технологій.

У Німеччині розроблено і реалізовано систему реновації застарілого індустріального житла із залученням фінансових ресурсів Міжнародного банку реконструкції та розвитку, а містобудівна документація (стратегічний план землекористування, план забудови) за змістом і завданнями функціонує як будівельна планувальна документація, що регулярно оновлюється з урахуванням інвестиційних намірів після проведення громадських слухань.

В Україні містобудівна документація не містить конкретних параметрів будівельного використання територій, відсутній механізм її оновлення.

На прикладі містобудівної практики Києва автор пропонує варіантну модель оновлення генерального плану міста з урахуванням інвестиційних намірів, громадських інтересів (рис.).

У складі містобудівної документації, окрім нормативів загального використання територій міста (щільність населення мікрорайону), пропонується встановлювати граничні параметри будівельного освоєння земельних ділянок: відсоток забудови та коефіцієнт граничної поверхової площі.

Рис. Блок-схема внесення змін до генерального плану міста (пропозиції) / A chart of making alterations to the general plan of city (suggestions)

Висновки. Система управління будівельним комплексом потребує реформування для забезпечення можливості вирішення нових соціальних завдань. Інноваційна стратегія реформ повинна передбачити нормативно-правовий, соціальний, економіко-фінансовий і технічний механізми, у тому числі:

1. Законодавчі акти у сфері будівництва, що регулюють страхування будівельних і кредитних ризиків, систему пільг і субсидій, співвідношення ціни продажу і кошторисної вартості 1 м^2;

2. Нормативні акти і стандарти, що забезпечують технічну інноваційну екофільну і ресурсозберігальну політику;

3. Постійно поновлювані генеральний план міста та план зонування території з визначенням параметрів будівельного освоєння земельних ділянок;

4. Національні програми забезпечення житлом не тільки незаможних громадян, які потребують державної підтримки, та черговиків, а й залучення у сферу їх дії молоді, активних представників середнього класу, працівників бюджетної сфери (освіта, медицина, військовослужбовці);

5. Фінансові механізми реалізації національних програм, що забезпечують страхування іпотеки, оренду комунального житлового фонду, викуп права власності на житло, стимулювання інноваційних технологій тощо;

6. Електронний механізм дистанційного урядування, що забезпечує будівельну складову та популяризацію містобудівної документації.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

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 доступу: 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 ; Централ. 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. Проблеми і перспективи будівництва доступного житла в Україні / Т. С. Кравчуновська, С. П. Броневицький, І. О. Михайлова, О. О. Мартенс // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 69 : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – С. 242-246.
9. Концептуальные основы региональной политики развития комплексной реконструкции объектов жилой недвижимости с максимальным использованием существующих зданий и инфраструктуры городских территорий : монография / В. М. Кирнос, 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. Кирноса. – Днепропетровск : Наука и образование, 2010. – 121 с.
10. Костецький 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.
11. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста : монографія / А. П. Осітнянко. – Київ : КНУБА, 2001. – 460 с.
12. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p.
13. 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. – Режим доступу: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/Publications/spatial_planning.e.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено: 27.07.2015.
14. Sidney V. Levy. Project management in construction / Sidney V. Levy. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.

REFERENCES

1. Bronevytsky S.P. *Metody upravleniya stroitelnym 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. Kravchunovska T.S., Bronevytskyi S.P., Mykhailova I.O. and Martens O.O. *Problemy i perspektyvy budivnytstva dostupnogo zhytla v Ukraini* [Problems and prospects of construction of affordable housing in Ukraine]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. 2013, iss. 69, pp. 242-246. (in Ukrainian).
9. 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).
10. 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).
11. Ositnianko A.P. *Planuvannia rozvytku mista* [City development planning]. Kyiv: KNUCA, 2001, 460 p. (in Ukrainian).
12. Richard L. and Eschemuller J. *Urban construction project management*. NewYork: McGraw-Hill, 2008, 480 p.
13. United Nations Economic commission for Europe. *Spatial planning. Key instrument for development and effective governance with special reference to countries in transition*. New York; Geneva, 2008. Available at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/Publications/spatial_planning.e.pdf.
14. Sidney V. Levy. *Project management in construction*. New York: McGraw-Hill, 2006, 402 p.

Стаття рекомендована до друку 15.08.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. В. І. Большаков, д-р т. н., доц. І. В. Тріфонов
Надійшла до редколегії: 26.08.2015 р. Прийнята до друку: 28.08.2015 р.

УДК 69.032.22:658.512.4

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ЗВЕДЕННЯ ВИСОТНИХ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

ЗАЯЦЬ Є. І., *к. т. н., доц.*
Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Техніко-економічні показники проектів будівництва висотних багатофункціональних комплексів, а саме: тривалість виконання робіт та вартість будівельної продукції, залежать від технології виробництва будівельно-монтажних робіт і методу організації будівництва, на вибір яких впливають ухвалені архітектурно-планувальні, конструктивні та інженерні рішення. ***Мета роботи.*** Виявлення закономірностей впливу організаційно-технологічних факторів на тривалість зведення висотних багатофункціональних комплексів в умовах ущільненої міської забудови. ***Висновок.*** Виявлені закономірності впливу організаційно-технологічних факторів (умовної висоти, фактора складності розроблення проектно-кошторисної документації, фактора складності виробництва будівельно-монтажних робіт, фактора складності управління інвестиційно-будівельним проектом, фактора економічності, фактора комфортабельності, фактора стисненості, фактора технологічності проектних рішень) на тривалість зведення висотних багатофункціональних комплексів (залежно від їх умовної висоти: від 73,5 до 100 м включно; від 100 до 200 м включно) дозволяють кількісно оцінити їх вплив і можуть бути використані для розроблення методики обґрунтування доцільності та ефективності реалізації проектів висотного будівництва в умовах ущільненої міської забудови, заснованої на врахуванні впливу організаційно-технологічних аспектів.

Ключові слова*:* *висотний багатофункціональний комплекс, ефективність, тривалість, вартість, організаційно-технологічні фактори*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

ЗАЯЦ Е. И., *к. т. н., доц.*
Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** Технико-экономические показатели проектов строительства высотных многофункциональных комплексов, а именно: продолжительность выполнения работ и стоимость строительной продукции, зависят от технологии производства строительно-монтажных работ и метода организации строительства, на выбор которых влияют принятые архитектурно-планировочные, конструктивные и инженерные решения. ***Цель роботы.*** Выявление закономерностей влияния организационно-технологических факторов на продолжительность возведения высотных многофункциональных комплексов в условиях плотной городской застройки. ***Вывод.*** Выявленные закономерности влияния организационно-технологических факторов (условной высоты, фактора сложности разработки проектно-сметной документации, фактора сложности производства строительно-монтажных работ, фактора сложности управления инвестиционно-строительным проектом, фактора экономичности, фактора комфортабельности, фактора стесненности, фактора технологичности проектных решений) на продолжительность возведения высотных многофункциональных комплексов (в зависимости от их условной высоты: от 73,5 до 100 м включительно; от 100 до 200 м включительно) позволяют количественно оценить их влияние и могут быть использованы при разработке методики обоснования целесообразности и эффективности реализации проектов высотного строительства в условиях плотной городской застройки, основанной на учете влияния организационно-технологических аспектов.

Ключевые слова*:* *высотный многофункциональный комплекс, эффективность, продолжительность, стоимость, организационно-технологические факторы*

REGULARITIES OF THE INFLUENCE OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DURATION OF CONSTRUCTION OF HIGH-RISE MULTIFUNCTIONAL COMPLEXES

ZAIATS Yi. I., *Cand. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*
Department of materials science, State Higher Educational Establishment «Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

Summary. Problem statement. Technical and economic indexes of projects of construction of high-rise multifunctional complexes, namely: the duration of construction works and the cost of building products depends on the technology of construction works and method of construction organization, and on their choice influence the architectural and design, constructional and engineering made decisions. ***Purpose.*** To reveal the regularity of influence of organizational and technological factors on the duration of construction of high-rise multifunctional complexes in the conditions of dense city building. ***Conclusion.*** To reveal the regularity of the influence of organizational and technological factors (the height, the factor complexity of design of project and and estimate documentation, factor of complexity of construction works, the factor of complexity of control of investment and construction project, economy factor, comfort factor, factor of technology of projected solutions) for the duration of the construction of high-rise multifunctional complexes (depending on their height: from 73,5 m to 100 m inclusively; from 100 m to 200 m inclusively) allow us to quantitatively assess their influence and can be used in the development of the methodology of substantiation of the expediency and effectiveness of the realization of projects of high-rise construction in condition of compacted urban development, based on the consideration of the influence of organizational and technological aspects.

Key words*:* *high-rise multifunctional complex, efficiency, duration, cost, organizational and technological factors*

Постановка проблеми та її зв'язок із науковими і практичними завданнями. Техніко-економічні показники проектів будівництва висотних багатофункціональних комплексів, а саме: тривалість виконання робіт та вартість будівельної продукції, залежать від технології виробництва будівельно-монтажних робіт і методу організації будівництва, на вибір яких впливають ухвалені архітектурно-планувальні, конструктивні й інженерні рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатом аналізу містобудівних, архітектурно-планувальних, конструктивних та інженерних рішень, ухвалюваних для будівництва висотних багатофункціональних комплексів, систематизовано та формалізовано множину технологічних, технічних, організаційних, соціально-економічних факторів, які здійснюють визначальний вплив на тривалість виконання робіт та вартість будівельної продукції у процесі будівництва висотних багатофункціональних комплексів в умовах ущільненої забудови з метою подальшого їх використання для дослідження зв'язків і закономірностей, що виникають у процесі управління ресурсами під час проектування та реалізації цих проектів [2; 4; 6–14].

Мета роботи - виявлення закономірностей впливу організаційно-технологічних факторів на тривалість зведення висотних багатофункціональних комплексів в умовах ущільненої міської забудови.

Виклад матеріалу. Тривалість будівництва об'єктів визначають на різних стадіях проектування. Спосіб визначення тривалості будівництва залежить від стадії проектування та наявних вихідних даних.

Згідно з [3], вихідними даними для визначення тривалості будівництва є:

– обсяги будівельних робіт, витрати, трудових, матеріально-технічних ресурсів, необхідних для виконання будівельних робіт;

– рішення генерального плану;

– об'ємно-планувальні й конструктивні рішення проекту;

– загальні організаційно-технологічні схеми зведення основного будівництва та об'єктів підсобного й обслуговуючого призначення, енергетичного господарства, транспорту та зв'язку, зовнішніх мереж;

– перелік, обсяги та тривалість робіт, які виконуються в підготовчий період;

– умови здійснення будівництва (щільність забудови, інженерно-геологічні умови тощо);

– інформація щодо умов постачання та транспортування від підприємств постачальників будівельних конструкцій готових виробів, матеріалів та обладнання (можливі строки, періодичність, обсяги та комплектність поставки тощо);
– інформація щодо забезпечення будівництва трудовими ресурсами (якісно-кількісний склад, середній виробіток робітників за видами робіт), будівельними машинами та механізмами (перелік, кількість, продуктивність);
– умови фінансування будівництва тощо.

На стадіях проектування: техніко-економічного обґрунтування (ТЕО), техніко-економічного розрахунку (ТЕР), ескізного проекту (ЕП) за відсутності необхідних вихідних даних для визначення тривалості будівництва тривалість будівництва може бути визначена з використанням усереднених показників, наведених у додатку А [3], або показників, наведених у [5].

Як вихідні дані для визначення тривалості будівництва можуть використовуватись дані за об'єктами-аналогами, які мають подібні об'ємно-планувальні та конструктивні рішення, близькі характеристики об'єкта (об'єми, площі, потужності тощо) [3].

У разі якщо значення характеристики об'єкта, тривалість будівництва якого визначають, відрізняється від наведеного у додатку А [3] або [5], усереднений показник тривалості будівництва такого об'єкта визначають інтерполяцією або екстраполяцією.

При екстраполяції значення характеристики об'єкта не повинно бути більше ніж подвоєне максимальне або менше ніж половина мінімального значення зазначеної характеристики.

Для унікальних об'єктів будівництва, в яких застосовано складне технологічне обладнання або принципово нова технологія виробництва робіт з використанням нових матеріалів та конструкцій, тривалість будівництва визначають на основі укрупненого сітьового графіка у складі проекту організації будівництва (ПОБ), який відображає взаємозв'язки між учасниками будівництва.

Замовник може встановлювати вимоги щодо тривалості будівництва (директивна тривалість будівництва).

Отже, виходячи з положень [3], а також зважаючи на унікальність висотних багатофункціональних комплексів, можна констатувати об'єктивну необхідність виявлення залежностей тривалості зведення висотних багатофункціональних комплексів від множини визначальних організаційно-технологічних факторів.

За результатами збирання вихідної інформації, спираючись на положення ДБН В.2.2-24:2009 (пп. 1.1, 1.3) [1], а також зважаючи на результати аналізу і узагальнення світового досвіду висотного будівництва, здійснено розподіл досліджуваних висотних багатофункціональних комплексів на дві групи за критерієм умовної висоти об'єкта: до першої групи увійшли висотні будинки з умовною висотою від 73,5 м до 100 м включно, до другої групи - висотні будинки з умовною висотою від 100 м до 200 м включно.

У результаті оцінювання вихідної інформації щодо проектів зведення висотних багатофункціональних комплексів установлено, що показники ефективності і організаційно-технологічні фактори змінювалися в таких межах (табл. 1, 2).

Згідно з даними, наведеними в таблицях 1 та 2, можна зробити висновок, що вихідна інформація достовірна й однорідна, а досліджувані показники ефективності організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів і організаційно-технологічних факторів підпорядковуються закону нормального розподілу і можуть бути використані в процесі моделювання зв'язку між факторними і результативними показниками. Аналітична форма рівнянь регресії визначалась із застосуванням програмного пакета для статистичного аналізу StatGraphics Plus 5.1 Enterprise.

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

Таблиця 1

Статистичні характеристики досліджуваних показників та факторів проектів зведення висотних багатофункціональних комплексів умовною висотою від 73,5 до 100 м включно

Найменування досліджуваних показників і факторів	Статистичні характеристики						
	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %	A/m_a	E/m_e
Тривалість (T_1), міс.	13	51	28,8	9,43	32,76	1,6	0,06
Кількість поверхів	24	36	29	3,88	13,46	2,33	0,43
Фактор складності розроблення проектно-кошторисної документації ($C_{пкд}$)	0,492	0,69	0,568	0,051	8,94	0,81	0,37
Фактор складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бмр}$)	0,5	0,7	0,598	0,05	8,43	0,6	0,096
Фактор складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$)	0,55	0,65	0,599	0,02	3,29	0,21	0,999
Фактор економічності (F_e)	0,51	0,715	0,646	0,06	9,7	1,14	0,76
Фактор комфортабельності (F_c)	0,6	0,72	0,671	0,05	7,38	1,31	1,71
Фактор стисненості (F_s)	0,2	0,73	0,446	0,14	30,64	0,28	0,09
Фактор технологічності проектних рішень (F_t)	0,52	0,71	0,592	0,05	9,8	1,8	0,65

Таблиця 2

Статистичні характеристики досліджуваних показників та факторів проектів зведення висотних багатофункціональних комплексів умовною висотою від 100 до 200 м включно

Найменування досліджуваних показників і факторів	Статистичні характеристики						
	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %	A/m_a	E/m_e
Тривалість (T_2), міс.	18	66	42,6	14,02	32,89	0,23	0,59
Кількість поверхів	27	50	39	7,68	19,8	0,4	1,19
Фактор складності розроблення проектно-кошторисної документації ($C_{пкд}$)	0,576	0,87	0,71	0,09	12,25	1,14	0,3
Фактор складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бмр}$)	0,595	0,8	0,698	0,05	7,17	0,37	0,8
Фактор складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$)	0,615	0,85	0,696	0,08	11,38	11,82	0,08
Фактор економічності (F_e)	0,5	0,8	0,615	0,12	20,3	0,68	1,42
Фактор комфортабельності (F_c)	0,55	0,8	0,647	0,09	14,39	0,57	1,28
Фактор стисненості (F_s)	0,2	0,8	0,489	0,15	31,54	0,02	0,08
Фактор технологічності проектних рішень (F_t)	0,51	0,81	0,636	0,13	20,2	0,42	1,57

За результатами аналізу всіх типів залежностей тривалості (T_1) зведення висотних багатофункціональних комплексів (умовною висотою від 73,5 до 100 м включно) від організаційно-технологічних факторів: умовної висоти ($h_{ум}$), фактора складності розроблення проектно-кошторисної документації ($C_{пкд}$), фактора складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бмр}$), фактора складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$), фактора економічності (F_e), фактора комфортабельності (F_c), фактора стисненості (F_s), фактора технологічності проектних рішень (F_t), відібрано моделі, що посідають перше місце за якістю апроксимації експериментальних досліджень (табл. 3).

Таблиця 3

Парні моделі для обґрунтування тривалості зведення висотних багатофункціональних комплексів (T_1) (умовною висотою від 73,5 до 100 м включно)

Вид залежності	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації, %	Фактичне значення критерію Фішера, $F_ф$
$T_1 = 80{,}6424 + 97{,}314 \cdot \ln(F_t)$	0,979	95,93	589,75
$T_1 = (2{,}70499 + 5{,}81481 \cdot F_s)^2$	0,925	85,64	149,11
$T_1 = \dfrac{1}{\dfrac{0{,}0718551}{F_e} - 0{,}0738304}$	0,929	86,22	156,41
$T_1 = (16{,}0314 \cdot C_{пкд} - 3{,}80351)^2$	0,948	89,92	222,98
$T_1 = e^{5{,}88324 \cdot C_{бмр} - 0{,}209173}$	0,922	84,94	140,95
$T_1 = 3301{,}74 \cdot C_{упр}^{\ 9{,}35993}$	0,956	91,46	267,67
$T_1 = (0{,}0804407 \cdot h_{ум} - 1{,}54195)^2$	0,94	88,36	189,7

Таблиця 4

***Парні моделі для обґрунтування тривалості зведення висотних багатофункціональних комплексів (T_2) (умовною висотою* від 100 до 200 м включно)**

Вид залежності	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації, %	Фактичне значення критерію Фішера, $F_ф$
$T_2 = 121{,}434 - \dfrac{9944{,}95}{h_{ум}}$	-0,98	96,15	274,8
$T_2 = e^{8{,}25301 - \frac{3{,}1671}{C_{бмр}}}$	-0,95	89,44	93,15
$T_2 = 82{,}8669 + 114{,}963 \cdot \ln(C_{пкд})$	0,97	95,02	209,99
$T_2 = 159{,}51 \cdot \sqrt{F_t} - 83{,}9287$	0,91	82,8	52,95
$T_2 = 87{,}3466 + 121{,}282 \cdot \ln(C_{упр})$	0,93	87,2	74,91
$T_2 = 163{,}493 \cdot \sqrt{F_e} - 84{,}9242$	0,91	83,65	56,3
$T_2 = \dfrac{1}{0{,}00162852 + \dfrac{0{,}0107816}{F_s}}$	0,98	96,13	273,1

За результатами аналізу всіх типів залежностей тривалості (T_2) зведення висотних багатофункціональних комплексів (умовною висотою від 100 до 200 м включно) від організаційно-технологічних факторів: умовної висоти ($h_{ум}$), фактора складності розро-

блення проектно-кошторисної документації ($C_{пкд}$), фактора складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бмр}$), фактора складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$), фактора економічності (F_e), фактора комфортабельності (F_c), фактора стисненості (F_s), фактора технологічності проектних рішень (F_t), відібрано моделі, що посідають перше місце за якістю апроксимації експериментальних досліджень, які наведено в таблиці 4.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Оцінка виявлених закономірностей впливу організаційно-технологічних факторів (умовної висоти ($h_{ум}$), фактора складності розроблення проектно-кошторисної документації ($C_{пкд}$), фактора складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бмр}$), фактора складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$), фактора економічності (F_e), фактора комфортабельності (F_c), фактора стисненості (F_s), фактора технологічності проектних рішень (F_t)) на тривалість зведення висотних багатофункціональних комплексів (залежно від їх умовної висоти: від 73,5 до 100 м включно, від 100 до 200 м включно) за критерієм Фішера підтвердила їх адекватність реальному процесу зведення висотних багатофункціональних комплексів.

Виявлені закономірності впливу організаційно-технологічних факторів (умовної висоти ($h_{ум}$), фактора складності розроблення проектно-кошторисної документації ($C_{пкд}$), фактора складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бмр}$), фактора складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$), фактора економічності (F_e), фактора комфортабельності (F_c), фактора стисненості (F_s), фактора технологічності проектних рішень (F_t)) на тривалість зведення висотних багатофункціональних комплексів (залежно від їх умовної висоти: від 73,5 до 100 м включно, від 100 до 200 м включно) дозволяють кількісно оцінити їх вплив і можуть бути використані для розроблення методики обґрунтування доцільності та ефективності реалізації проектів висотного будівництва в умовах ущільненої міської забудови, заснованої на врахуванні впливу організаційно-технологічних аспектів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків : ДБН В.2.2-24–2009 / Мінрегіонбуд України. – Уведено вперше ; чинні з 2009-09-01. – Київ, 2009. – 161 с. – (Державні будівельні норми).
2. Система надійності та безпеки в будівництві. 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. Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва : ДБН А.3.1-5-2009 / Мінрегіонбуд України. – Вид. офіц. – На заміну ДБН А.3.1-5-96 ; чинні з 2012-01-01. – Київ, 2011. – 61 с. – (Державні будівельні норми).
5. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений : СНиП 1.04.03-85* / Госстрой СССР. – Введ. 1991-01-01. – Москва : АПП ЦИТП, 1991. – 137 с.
6. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий : учеб.-метод. пособие / В. П. Генералов ; Самар. гос. архитектурно-строит. ун-т. – Самара : Самар. кн. изд-во, 2009. – 296 с.
7. Гончаренко Д. Ф. Возведение многоэтажных каркасно-монолитных зданий : монография / Гончаренко Д. Ф., Карпенко Ю. В., Меерсдорф Е. И. ; под ред. Д. Ф. Гончаренко. – Киев : А+С, 2013. – 128 с.
8. Кирнос В. М. Организация строительства : учеб. пособие для вузов / Кирнос В. М., Залунин В. Ф., Дадиверина Л. Н. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – 309 с.
9. Кирнос О. И. Организационно-технологические аспекты обоснования цены на строительную продукцию : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Олеся Ивановна ; Днепропетр. 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. – 2008. – Vol. 14, iss. 3. – P. 428-443.
14. Sidney V. L. Project management in construction / V. L. Sidney. – 5th edition. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.

REFERENCES

1. Minregionbud Ukrainy. *Budynky i sporudy. Proektuvannia vysotnykh zhytlovykh i gromadskykh budynkiv: DBN B.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 ushchilnenoi zabudovy. Vymogy bezpeky: DBN B.1.2-12-2008* [Construction in the compacted area. Safety requirements: SCN V.1.2-12-2008]. Kyiv, 2008, 34 p. (in Ukrainian).
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 construction: SCN A.3.1-5-2009]. Kyiv, 2011, 61 p. (in Ukrainian).
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 high-rise buildings]. Samarskiy gos. arkhit. stroit. universitet. Samara: Samarskoe knighn. izd, 2009, 296 p. (in Russian).
7. Goncharenko D. F., Karpenko Yu. V. and Meersdorf E. I. *Vozvedenie mnogoetazhnykh karkasno-monolitnykh zdaniy* [The construction of multi-storey frame-monolithic buildings]. Kyiv: A+S, 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-tekhnologicheskie aspekty obosnovaniya tseny na stroitelnuyu 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 Peifu, Fu Suysi, Van Tsuikin' and Syao Tsunchzhen'. *Proektirovanie sovremennykh vysotnykh zdaniy* [The design of modern high-rise buildings]. Moscow: ASV, 2008, 469 p. (in Russian).
11. Mir V. A. *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. and Eschemuller J. *Urban construction project management.* 1-st edition. New York: McGraw-Hill, 2008, 480 p.
13. Shevchenko G., Ustinovichius L. and Andruskevicius A. *Multi-attribute analysis of investments risk alternatives in construction*. *Technological and economic development of economy*. 2008, vol. 14, no. 3, pp. 428-443.
14. Sidney V. L. *Project management in construction.* 5-th edition. New York: McGraw-Hill, 2006, 402 p.

Стаття рекомендована до друку 15.05.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Т. С. Кравчуновська.

Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.

UDK 519.6:697.953:004.94

CALCULATION OF AIR ION REGIME IN THE CASE OF ARTIFICIAL AIR IONIZATION

BILIAIEV M. M.[1*], *Dr. Sc. (Tech.),Prof.,*
TSYGANKOVA S. G.[2*], *Assist.*
[1*] Department of Hydraulics and Water Supply, National University of Railway Transport Named after academician V. Lazaryan, 2, akademika Lazariana str., Dnipropetrovsk 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882
[2*] Department of Water Supply, Drainage and Hydraulic, State Higher Educational Establishment «Pridneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Ghernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 697-92-18, e-mail: s-tsygankova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-9837-3109

Summary. Purpose. One of the major tasks in the field of labor protection is providing of the necessary qualitative composition of air in the working areas of office and industrial spaces. In order to maintain the necessary air ion level in the air space premises, the artificial ionization of air is used often in the premises. At present in Ukraine analytical model are used for the calculation of air ion regime in premises, influencing on the formation process of air ions concentration field. An alternative solution is the use of CFD models, developing including the air jets aerodynamics in the premise, the presence of furniture, equipment, transfer of ions under an electric field, and other physical factors, determining intensity and shape of air ions concentration field in the premise. ***Methodology***. Influence of air flow was taken into account in the development of CFD models for calculation of air ion regime in the apartment, caused by operation of ventilation, diffusion, electric field impact, as well as the interaction of different polarity ions with each other, and their interaction with dust particles. The proposed model of calculation of air ion regime in premises based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transfer levels. This model allows operatively to calculate air ions concentration field with the influence of the walls, floor, ceiling and obstacles on the process of air ions dispersion, the specific location of different polarity ions emission and their interaction in the premise and work areas in conditions of artificial air ionization. ***Results.*** The calculated data were obtained and on their base could be estimated the concentration of air ion anywhere in the premise with artificial air ionization. Ions concentration field, being calculated using this CFD model, as concentration field isolines is presented. ***Originality***. The results of the air ion regime calculation in the premise are presented, based on numerical 2D CFD model. To solve the problem on the base, of the developed CFD model, about a minute of computer time is required. ***Practical value.*** 2D CFD model for air ion regime calculation in premises allows to calculate the ions concentration in their working areas of premise in conditions of artificial air ionization including the basic physical factors, determining the formation of ions concentration fields.

Key words*:* *CFD model; air ion regime; concentration field of air ions, artificial ionization*

РОЗРАХУНОК АЕРОІОННОГО РЕЖИМУ У ВИПАДКУ ШТУЧНОЇ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

БІЛЯЄВ М. М.[1*], *д. т. н., проф.,*
ЦИГАНКОВА С. Г.[2*], *асист.*
[1*] Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Академіка Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882
[2*] Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 697-92-18, e-mail: s-tsygankova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-9837-3109

Анотація. Мета. Одне із найважливіших завдань у галузі охорони праці - забезпечення необхідного якісного складу повітряного середовища в робочих зонах офісних і виробничих приміщень. Для підтримки необхідного рівня аероіонів у повітряному середовищі приміщень часто застосовують штучну іонізацію повітря в приміщеннях. На даний момент в Україні для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях використовуються переважно аналітичні моделі, розроблені, як правило, без урахування різних фізичних факторів, що впливають на процес формування концентраційного поля аероіонів. Альтернативним рішенням є застосування CFD моделей, які розробляються з урахуванням аеродинаміки повітряних струменів у приміщенні, наявності меблів, обладнання, перенесення іонів за дії електричного поля, інших фізичних факторів, що визначають інтенсивність і форму концентраційного поля аероіонів у приміщенні. ***Методика***. Розробляючи числову CFD модель для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях, враховували вплив потоків повітря, викликаних роботою вентиляції, дифузії, вплив електричного поля, а також взаємодію іонів різної полярності між собою і із частинками пилу. Запропонована модель розрахунку аероіонного режиму в

приміщеннях заснована на застосуванні рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу. Ця модель дозволяє оперативно розраховувати концентраційне поле аероіонів з урахуванням впливу стін, підлоги, стелі, перешкод на процес розсіювання аероіонів, конкретного місця емісії іонів різної полярності та їх взаємодії в приміщенні і в робочих зонах в умовах штучної іонізації повітря. ***Результати.*** Отримано розрахункові дані, на підставі яких можна оцінити концентрацію аероіонів у будь-якому місці приміщення зі штучною іонізацією повітря. Концентраційне поле аероіонів, розраховане за допомогою даної CFD моделі, наведене у вигляді ізоліній. ***Наукова новизна.*** Наведено результати розрахунку аероіонного режиму в приміщенні на базі чисельної 2D CFD моделі. Для розв'язання задачі на базі розробленої CFD моделі потрібно близько хвилини комп'ютерного часу. ***Практична значимість.*** 2D CFD модель розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях дозволяє розраховувати концентрацію аероіонів у робочих зонах приміщення в умовах штучної іонізації повітря з урахуванням основних фізичних факторів, що визначають формування концентраційних полів аероіонів.

Ключові слова*: CFD модель; аероіонний режим; концентраційне поле аероіонів, штучна іонізація*

РАСЧЕТ АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В СЛУЧАЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

БЕЛЯЕВ Н. Н.[1*], *д. т. н., проф.,*
ЦЫГАНКОВА С. Г.[2*], *ассист.*
[1*] Кафедра гидравлики и водоснабжения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Академика Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882
[2*] Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 697-92-18, e-mail: s-tsygankova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-9837-3109

Аннотация. Цель. Одной из важнейших задач в области охраны труда является обеспечение необходимого качественного состава воздушной среды в рабочих зонах офисных и производственных помещений. Для поддержания необходимого уровня аэроионов в воздушной среде помещений часто применяют искусственную ионизацию воздуха в помещениях. На данный момент в Украине для расчета аэроионного режима в помещениях используются преимущественно аналитические модели, разработанные, как правило, без учета различных физических факторов, влияющих на процесс формирования концентрационного поля аэроионов. Альтернативным решением является применение CFD моделей, которые разрабатываются с учетом аэродинамики воздушных струй в помещении, наличия мебели, оборудования, переноса ионов под действием электрического поля, других физических факторов, определяющих интенсивность и форму концентрационного поля аэроионов в помещении. ***Методика.*** При разработке численной CFD модели для расчета аэроионного режима в помещениях учитывалось влияние потоков воздуха, вызванных работой вентиляции, диффузии, воздействия электрического поля, а также взаимодействие ионов различной полярности друг с другом и с частицами пыли. Предложенная модель расчета аэроионного режима в помещениях основана на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса. Данная модель позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов с учетом влияния стен, пола, потолка, препятствий на процесс рассеивания аэроионов, конкретного места эмиссии ионов различной полярности и их взаимодействия в помещении и в рабочих зонах в условиях искусственной ионизации воздуха. ***Результаты.*** Получены расчетные данные, на основании которых можно оценить концентрацию аэроионов в любом месте помещения с искусственной ионизацией воздуха. Концентрационное поле аэроионов, рассчитанное с помощью данной CFD модели, представлено в виде изолиний концентрационного поля. ***Научная новизна.*** Представлены результаты расчета аэроионного режима в помещении на базе численной 2D CFD модели. Для решения задачи на базе разработанной CFD модели требуется около минуты компьютерного времени. ***Практическая значимость.*** 2D CFD модель расчета аэроионного режима в помещениях позволяет рассчитывать концентрацию аэроионов в рабочих зонах помещения в условиях искусственной ионизации воздуха с учетом основных физических факторов, определяющих формирование концентрационных полей аэроионов.

Ключевые слова*: CFD модель; аэроионный режим; концентрационное поле аэроионов, искусственная ионизация*

Introduction. Under modern conditions one of the most important tasks in the labor protection field is to provide of proper micro-climatic conditions for the staff of industrial and office premises [2-12]. One of the significant parameters is directly affecting on the staff productivity is the qualitative composition of the air. In order to maintain the necessary ions level in the air space is used often the artificial ionization of the indoor air. Ionization is generally carried out either by setting the ionizer indoors or supply of ionized air into the room. In the case

of an ionized air supply it is necessary to calculate the level of negative ions in the working areas of office and industrial premises, and therefore have the necessary mathematical apparatus for calculating the ions concentration field in the premises. It is important to take into account all factors that influence the ions dispersion in the room.

In Ukraine today for calculating air ion regime in premises mainly used analytical models [4-12], allowing calculating the ions concentration in the room. However, as a rule, in these models do not consider the aerodynamics of the air jets in the room, the presence of equipment, furniture, dust emission sources, that is, physical factors influencing the formation of ions concentration field. To account for the above mentioned factors, it is more expedient to use CFD models [2; 3; 13; 16].

Purpose. In the given work results of applying CFD numerical models, which is taken into account the placement of furniture and equipment in the room and physical factors determining the formation of the ions concentration field, for computation air ion regime in premises and in work areas in the conditions of artificial air ionization.

Methodology. In the development of a numerical model for computation of air ion regime should take into account the impact of indoor air flows caused by the ventilation operation, diffusion, electric field effects. It is also necessary to take into account the interaction of different polarities ions with each other and their interaction with the dust particles. Thus, in the simulation of air ions dispersion to account for the above processes will use the transfer equation in the form [16]:

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial (u+bE)C}{\partial x}+\frac{\partial (v+bE)C}{\partial y}=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)-\alpha CB-$$

$$-\ CD+\sum Q_c(t)\delta(x-x_c)\delta(y-y_c), \quad (1)$$

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

Since air ions have a charge, they generate an electric field *E*, which is described by the following equation [16]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}=\frac{q_e}{£_0}, \quad (2)$$

where $£_0$ – the dielectric permittivity; q_e – the space charge density.

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

$$E_x=-\frac{\partial ¤}{\partial x},\ E_y=-\frac{\partial ¤}{\partial y}. \quad (3)$$

Then we get the Poisson equation of the following form [16], which we will use to simulate the electric field:

$$\frac{\partial^2 ¤}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 ¤}{\partial y^2}=-\frac{q_e}{£_0}, \quad (4)$$

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

To describe the processes of positive ions and dust dispersion will use the equation of transfer in the form [16]:

$$\frac{\partial B}{\partial t}+\frac{\partial uB}{\partial x}+\frac{\partial vB}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left(«_x\frac{\partial B}{\partial x}\right)+$$

$$+\frac{\partial}{\partial y}\left(«_y\frac{\partial B}{\partial y}\right)-\sim CB-\ BD+$$

$$+\sum Q_B(t)¢(x-x_B)¢(y-y_B), \quad (5)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t}+\frac{\partial uD}{\partial x}+\frac{\partial vD}{\partial y}=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(«_x\frac{\partial D}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(«_y\frac{\partial D}{\partial y}\right)+$$

$$+\sum Q_{Di}(t)¢(x-x_D)¢(y-y_D). \quad (6)$$

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

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

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

where P – velocity potential.

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

$$u=\frac{\partial P}{\partial x}, \quad v=\frac{\partial P}{\partial y}. \qquad (8)$$

Formulation of boundary conditions for the modeling equations is considered in [1; 13; 16].

For the numerical integration of the transfer equations [1; 11; 13; 16] used the implicit alternately - triangular difference schemes, which has being implemented by the method of running accounts [1]. For the numerical solution of the Laplace equation and Poisson's equation used the Libman's method. The calculation is performed on rectangular difference grid.

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

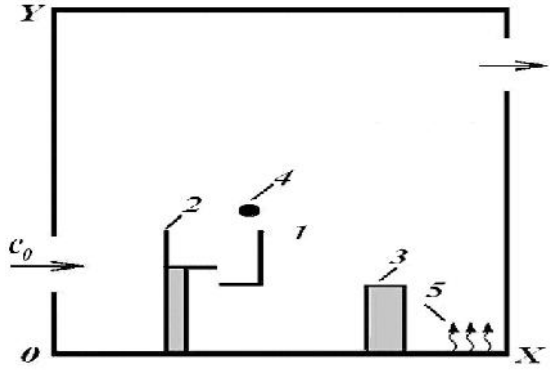


Fig. 1. The computational domain: 1 – chair; 2 – work desk; 3 – rack; 4 – place of positive ions emission (the position of the respiratory organs); 5 – place of dust emission

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

Findings. CFD numerical model was used to calculate the negative ions concentration in the field of office space in the conditions of artificial air ionization.

Sketch of the computational domain is shown in Fig. 1. It is the premises where to the air flows enter through the ventilation system. These air contains negative ions with a concentration C_0=0.55×10^{11} particles/m^3. The air exit from the room occurs through the outlet in the wall. The work area includes table and chair placed next.

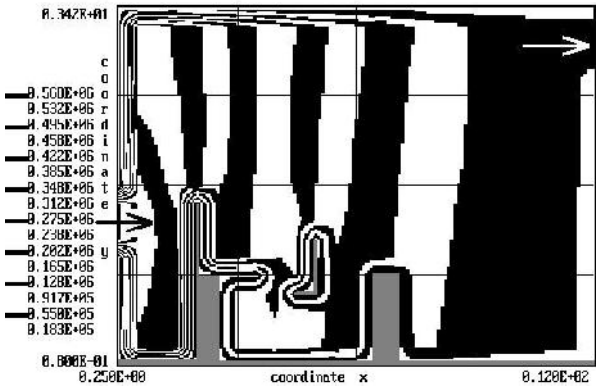


Fig. 2. Concentration field of negative air ions in the room

The people are the source of positive ions emission in the room. Therefore in the zone of their respiratory organs (Fig. 1, pos. 4) set point sources of positive ions emission intensity Q_B = 7×10^5 particles/s. The other of the problem parameters are: the size of the computational domain 12.25m×3.50m; ventilation rate is equal 3 [1/h]; the position of the inlet and outlet ventilation holes shown by arrows in Fig. 1; α = 1.5×10^{-12} m^3/s, β = 1×10^{-12} m^3/s [13; 16]; the coefficients of turbulent diffusion in all directions are taken to equal $«_x = «_y = kV$ (where $k = 0{,}1$ – the parameter, V - the local velocity in the specific computational point and it is defined by solving the aerodynamic problem). Dust emission occurs indoor, Q_{Di}=52×10^6 particles/s (dust emission position shown in Fig. 1 as a

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

The results of numerical simulation on the following figures are shown. On these figures the negative ions concentration field in the room was given. The simulation results are given in dimensionless form, where each number is a measure of concentration in percentage of the maximum ions concentration in the room C_{max}. Printing was done on the format as *«whole number»*, i.e. the fractional part shall not be issued to the printer.

In Fig. 2, the concentration of negative ions in the room is presented. The concentration of negative ions above the chair (the position of head of the worker) is equal to 0.021×10^{12} particles/m^3. It is known that the maximum level of negative ions in the working areas must be 0.05×10^{12} particles/m^3. So, for the proposed regime of ionization the concentration of negative ions is satisfied this condition.

In conclusion, for the solution of the problem on the basis of the developed CFD model it took about 1 minute of computer time.

Originality and practical value. The results of the new CFD model for the computation of air ion regime in rooms with artificial air ionization are represented. This 2D CFD model is based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transfer equations, and developed taking into account the main factors determining the formation of fields of concentration of ions in the room and work areas.

Conclusions. The article contains results numerical simulation of air ion regime in office and industrial environments with artificial air ionization. Calculated ions concentration field in the room, presented in the form of isoclines. To solve the problem on the basis of the developed CFD model took about a minute of computer time.

REFERENCES

1. Beliaev N.N., Hunko E.Yu. and Rostochilo N.V. *Zashchita zdaniy ot proniknoveniya v nikh opasnykh veshchestv* [Protection of building from penetration of hazardous substances into them]. Dnipropetrovsk: Aktsent PP, 2014, 136 p. (in Russian)
2. Beliaev N.N. and Tsygankova S.G. *Otsenka aeroionnogo rezhima v rabochikh zonakh na baze CFD modeli* [Evaluation of air ion regime in work areas on the base of CFD models] *Zbirnyk naukovykh prats NGU* [Proceedings of NMU]. 2015, no. 46, pp. 168-173. (in Russian).
3. Beliaev N.N. and Tsygankova S.G. *Raschet aeroionnogo rezhima v pomeshchenii i v rabochey zone na baze chislennoy modeli* [Calculation of air ion regime in the premises and work area on the basis of a numerical model] *Zbirnyk naukovykh prats NGU* [Proceedings of NMU]. 2015, no. 47, pp. 137-143. (in Russian).
4. Glyva V.A., Klapchenko V.I., Ponomarenko S.M., Shevchenko L.O and Smakovskiy D.S. *Vyznachennia ta prognozuvannia dynamiky zminy aeroionnogo skladu povitria vyrobnychykh prymishchen* [Determination and prediction of the ionic air composition change dynamics in industrial premises]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnogo universitetu Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»]. 2010, iss. 19, pp. 161-168. (in Ukrainian).
5. Tolkunov I.A., Mariniukh V.V., Popov I.I. and Ponomar V.V. *Deiaki aspekty zabezpechennia normatyvnogo aeroionnogo rezhymu robochoho seredovyshcha prymishchen spetsialnogo pryznachennia MNS Ukrainy* [Some aspects of the regulatory ionic regime of working environment of the special purpose premises of the Ministry of Emergencies of Ukraine]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy* [Problems of Emergencies]. 2008, iss. 8, pp. 198-206. (in Ukrainian).
6. Zaporozhets O.I., Glyva V.A. and Sidorov O.V. *Normuvannia aeroionnogo skladu povitria robochykh prymishchen ta osnovni napriamy yogo vdoskonalennia* [The standardization of the air ionic composition of work premises and main directions of its improvement]. *Visnyk natsionalnogo aviatsionnogo universytetu* [Bulletin of national aviation university]. 2011, vol. 46, no. 1, pp. 139-143. (in Ukrainian).
7. Zaporozhets O.I., Glyva V.A. and Sidorov O.V. *Printsypy modeliuvannia aeroionnoho skladu povitria u prymishchenniakh* [The principles of modeling of the air ionic composition in premises]. *Visnyk natsionalnogo aviatsiinogo universytetu* [Bulletin of National Aviation University]. 2011, vol. 47, no. 2, pp. 120-124. (in Ukrainian).
8. Levchenko L.O., Glyva V.A. and Sidorov O.V. *Tryvymirne modeliuvannia prostorovykh rozpodiliv kontsentratsii aeroioniv u povitri* [Three-dimensional modeling of air ions concentrations spatial distributions on air]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Control of the development of complex systems]. 2012, iss. 11, pp. 198-206. (in Ukrainian).

9. Bahrushyn V.E., Ignakhina M.A., Vertinskii D.V. and Yeevsiukov A.Yu. *Modelirovanie raspredeleniya kontsentratsii ionov vblizi ionizatora* [Simulation of distributing concentration of ions nearly ionizator]. *Skladni systemy ta protsesy* [Complex systems and processes]. 2002, no. 1, pp. 30-36. (in Russian).
10. Tolkunov I.A. *Bipoliarnaia ionizatsia povitrianogo seredovyshcha primishchen funktsionalnykh pidrozdiliv mobilnogo gospitaliu MNS* [Bipolaris ionizationair of air environment of premises of functional units of mobile hospital of the Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy* [Problems of Emergencies]. 2014, iss. 14, pp. 161-170. (in Ukrainian).
11. Tolkunov I.A. and Popov I.I. *Modeliuvannia protsesiv formuvannia poliv kontsetrtsii aeroioniv u povitrianomu seredovyshchi prymishchen spetsialnogo pryznachennia MNS Ukrainy* [Simulation of the process of formation of fields of air ions concentration in the air space of premises the special purpose of the Ministry of Emergencies of Ukraine]. *Problemy nadzvychainykh situatsiy* [Problems of Emergencies]. 2010, iss. 12, pp. 175-184. (in Ukrainian).
12. Tolkunov I.A., Popov I.I. and Barbasin V.V. *Teoreticheskhoe issledovanie protsessov perenosa ionov v potokakh vozdukha v pomeshcheniyakh spetsialnogo naznacheniya MChS Ukrainy* [Theoretical study of the ions transfer processes in the air flows in the premises of the special purpose of the Ministry of Emergencies of Ukraine]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy* [Problems of Emergencies]. 2010, iss. 11, pp. 137-145. (in Russian).
13. Fletcher L.A., Noakes C.J., Sleigh P.A., Beggs C.B. and Shepherd S.J. *Air ion behavior in ventilated rooms*. *Indoor and built Environment*. 2008, vol. 17, no. 2, pp. 173-182.
14. Drexler P., Fiala P. and Bartusek K *Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement. Journal of Electrical Engineering*. 2006, vol. 57, no. 8/S, pp. 62-65.
15. Murakami, S. *Computational wind engineering. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1990, vol. 36, part 1, pp. 517-538.
16. Noakes C.J., Sleigt P.A. and Beggs C. *Modelling the air cleaning performance of negative air ionizers in ventilated rooms. Proceedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms.* Roomvent 2007, 13-15 June 2007, Helsinki. Available at: http://eprints.whiterose.ac.uk/7700/1/Noakes_roomvent_07.pdf. (Accessed 17 September 2015).
17. Jurelionis A., Gagytė L., Prasauskas T., Čiužas D., Krugly E., Šeduikytė L. and Martuzevičius D. *The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach. Energy and Buildings*. 2015, vol. 86, january, pp. 305-313.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 136 с.
2. Беляев Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочих зонах на базе CFD модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. – № 46. – С. 168-173.
3. Беляев Н. Н. Расчет аэроионного режима в помещении и в рабочей зоне на базе численной модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. – № 47. – С. 137-143.
4. Визначення та прогнозування динаміки зміни аероіонного складу повітря виробничих приміщень / В. А. Глива, В. І. Клапченко, С. М. Пономаренко, Л. О. Шевченко, Д. С. Смаковський // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Гірництво : зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 19. – С. 161-168.
5. Деякі аспекти забезпечення нормативного аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, В. В. Маринюк, І. І. Попов, В. В. Пономар // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2008. – Вип. 8. – С. 198-206.
6. Запорожець О. І. Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – Т. 46, № 1. – С. 139-143.
7. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 120-124.
8. Левченко Л. О. Тривимірне моделювання просторових розподілів концентрацій аероіонів у повітрі приміщень / Л. О. Левченко, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Управління розвитком складних систем / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – 2012. – Вип. 11. – С. 198-206.
9. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнахина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – № 1. – С. 30-36.
10. Толкунов И. А. Біполярна іонізація повітряного середовища приміщень функціональних підрозділів мобільного госпіталю МНС / И. А. Толкунов // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2011. – Вип. 14. – С. 161-170.

11. Толкунов І. О. Моделювання процесів формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, І. І. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2010. – Вип. 12. – С. 175-184.
12. Толкунов И. А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2010. – Вип. 11. – С. 137-145.
13. Air ion behavior in ventilated rooms / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleigh P. A., Beggs C. B., Shepherd S. J. // Indoor and built environment. – 2008. – Vol. 17, № 2. – P. 173-182.
14. Drexler P. Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement / Petr Drexler, Pavel Fiala, Karel Bartusek // Journal of electrical engineering. – 2006. – Vol. 57, № 8/S. – P. 62-65.
15. Murakami S. Computational wind engineering / S. Murakami // Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 1990. – Vol. 36, part 1. – P. 517-538.
16. Noakes C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms / Noakes C. J., Sleigt P. A., Beggs C. // Proceedings of the 10th international conference on air distribution in rooms. Roomvent 2007, 13-15 june 2007, Helsinki, Finland. – Режим доступа: http://eprints.whiterose.ac.uk/7700/1/Noakes_roomvent_07.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено 17.09.2015.
17. The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach / A. Jurelionis, L. Gagytė, T. Prasauskas, D. Čiužas, E. Krugly, L. Šeduikytė, D. Martuzevičius // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 86, january. – P. 305-313.

Prof. B. V. Vinogradov (Ukraine), Dr. Sc. (Tech) and prof. P. P. Yermakov (Ukraine), Dr. Sc. (Tech) recommended this article to be published.

Стаття рекомендована до друку 15.05.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. В. С. Вахрушева.
Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.

УДК 691.327

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ЦЕМЕНТА С РАСТВОРАМИ ХЛОРИСТОГО МАГНИЯ ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

ДЕРЕВЯНКО В. Н.[1], *д. т. н., проф.,*
МАКСИМЕНКО А. А.[2], *к. т. н.,*
БЕГУН А. И.[3], *к. т. н., доц.,*
ГРИШКО А. Н.[4*], *к. т. н., ст. преп.*

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

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

[3] Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37

[4*] Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Аннотация. Постановка проблемы. При активации MgO солями электролитов в результате образования неводостойких гидросиликатов магния получают прочный цементный камень, имеющий низкую водостойкость. И. П. Выродов считает [9; 5], что твердение магнезиального цемента при затворении достаточно концентрированными (С > 20 %) растворами $MgCl_2$ обусловлено кристаллизацией оксигидрохлоридов состава: $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ и $7MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}15H_2O$. В области более низких концентраций раствора $MgCl_2$ образуется промежуточное соединение Mg[(OH)nCl2-n], имеющее изоморфную структуру $Mg(OH)_2$. При очень малой концентрации Cl^- практически образуется только $Mg(OH)_2$. ***Цель роботы.*** Исследование формирования водостойких гидросиликатов магния для создания быстротвердеющей и прочной структуры магнезиального камня. ***Вывод.*** Выявлена зависимость формирования структуры магнезиального камня от соотношения ($MgO/MgCl_2$) магнезиального цемента (MgO) и раствора хлористого магния ($MgCl_2$) различной плотности для образования оптимального содержания оксигидрохлоридов $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ и гидрата окиси магния ($Mg(OH)_2$). При введении в систему $MgO{\cdot}–{\cdot}H_2O$ кремниевой кислоты или тонкомолотых зерен кварца с размерами менее 20 – 30 мкм требуется более одного месяца для начала формирования гидросиликатов магния, которых образуется от 2 до 5 % от общего количества новообразований. Подтверждается мнение специалистов, что гидросиликаты магния не обладают вяжущими свойствами, в отличие от гидросиликатов кальция, а главную роль при твердении системы играет перекристаллизация геля $Mg(OH)_2$, который создает приемлемую прочность камня (*Rсж* ≈ 30МПа) через несколько лет. Установлено, что при затворении цемента MgO растворами низкой концентрации менее 1,5 мол/л (13 % или 1,1 г/см^3) конечным продуктом в структуре камня является $Mg(OH)_2$. При повышении концентрации затворителя (раствор $MgCl_2$) в структуре образуются по очереди $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ и $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$. Увеличение концентрации затворителя более 2,5 мол/л (*С* = 21 % или 1,18 г/см^3) приводит к образованию системы $MgO{\cdot}–{\cdot}MgCl_2{\cdot}–{\cdot}H_2O$, которая состоит из трех фаз пентооксигидрохлорида ($5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$) триоксигидрохлорида ($3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$), остатков не прореагировавшего $Mg(OH)_2$. В результате испытаний было установлено, что образцы, изготовленные из смеси цемента и бишофита с ρ = 1,28 г/см^3, обладают наиболее высокой прочностью.

Ключевые слова: *магнезиальный цемент, хлористый магний, затворитель, время твердения, кристаллизация, жидкая фаза, твердая фаза, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ*

ВИВЧЕННЯ ХІМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МАГНЕЗІАЛЬНОГО ЦЕМЕНТУ З РОЗЧИНАМИ ХЛОРИСТОГО МАГНІЮ ПІДВИЩЕНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.[1], *д. т. н., проф.,*
МАКСИМЕНКО А. А.[2], *к. т. н.,*
БЄГУН А. І.[3], *к. т. н., доц.,*
ГРИШКО Г. М.[4*], *к. т. н., ст. викл.*

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

[2] Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, (НД) Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві ДВНЗ ПДАБА, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266
[3] Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37
[4*]Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Анотація. Постановка проблеми. У процесі активації MgO солями електролітів у результаті утворення неводостійких гідросилікатів магнію отримують міцний цементний камінь, який має низьку водостійкість. І. П. Виродов вважає [9; 5], що твердіння магнезіального цементу при затворенні достатньо концентрованими (С > 20 %) розчинами $MgCl_2$ зумовлене кристалізацією оксигідрохлоридів складу: $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ і $7MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}15H_2O$. В області більш низьких концентрацій розчин $MgCl_2$ утворює проміжну сполуку Mg[(OH)nCl2-n], яка має ізоморфну структуру $Mg(OH)_2$. За дуже низької концентрації Cl^- практично утворюється тільки $Mg(OH)_2$. ***Мета роботи.*** Дослідження формування водостійких гідросилікатів магнію для створення швидкотверднучої і міцної структури магнезіального каменю. ***Висновок.*** Виявлено залежність формування структури магнезіального каменю від співвідношення ($MgO/MgCl_2$) магнезіального цементу (MgO) та розчину хлористого магнію ($MgCl_2$) різної щільності для утворення оптимального вмісту оксигідрохлоридів $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ і гідрату оксиду магнію ($Mg(OH)_2$). У разі введення в систему $MgO{\cdot}$–$\cdot H_2O$ кремнієвої кислоти чи тонкомелених зерен кварцу з розмірами менше 20 – 30 мкм знадобиться більше одного місяця для початку утворення гідросилікатів магнію, яких міститься від 2 до 5 % від загальної кількості новоутворень. Підтверджується думка спеціалістів, що гідросилікати магнію не мають в'яжучих властивостей, на відміну від гідросилікатів кальцію, а головну роль у твердінні системи відіграє перекристалізація гелю $Mg(OH)_2$, який створює прийнятну міцність каменю (*Rсж* ≈ 30МПа) через декілька років. Установлено, що у випадку затворення цементу MgO розчинами низької концентрації менше 1,5 мол/л (13 % чи 1,1 г/см^3) кінцевим продуктом у структурі каменю є $Mg(OH)_2$. У разі підвищення концентрації затворювача (розчин $MgCl_2$) у структурі утворюються по черзі $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ і $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$. Підвищення концентрації затворювача більше 2,5 мол/л (*С* = 21 % чи 1,18 г/см^3) зумовлює до утворення системи $MgO{\cdot}$–$\cdot MgCl_2{\cdot}$–$\cdot H_2O$, яка складається з трьох фаз: пентооксигідрохлориду ($5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$), триоксигідрохлориду ($3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$), залишків не прореагованого $Mg(OH)_2$. В результаті випробувань установлено, що зразки, виготовлені із цементу і бішофіту з ρ = 1,28 г/см^3, мають найвищу міцність.

Ключові слова: *магнезіальний цемент, хлористий магній, затворювач, час твердіння, кристалізація, рідка фаза, тверда фаза, рентгенофазовий аналіз, диференційно-термічний аналіз*

STUDY OF CHEMICAL INTERACTION OF MAGNESIA CEMENT WITH HIGH CONCENTRATION MAGNESIUM CHLORIDE SOLUTIONS

DEREVIANKO V. N.[1], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
MAKSIMENKO A. A.[2], *Cand. Sc. (Tech.).*,
BEGUN A. I.[3], *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
GRYSHKO H. M.[4*], *Cand. Sc. (Tech.), Senior Lecturer.*
[1.]Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, State Institution of Higher Education «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155
[2.]Department of Technology of building materials, products and designs (SR group) Pridneprovsk scientific-education Institute of innovations technologies in construction SHEI PSAGA, 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266
[3.]Department of Operation of Hydromelioration Systems and Construction Technology, Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, 25 Voroshylov St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 713-51-37
[4*]Department of Operation of Hydromelioration Systems and Construction Technology, Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, 25 Voroshylov St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Summary. Problem statement. In activating MgO by electrolyte salts, as a result of formation of non water-resist magnesium silicate hydrate are obtained the durable cement stone having the low water-resist. I. P. Vyrodov considers [9; 5], that magnesia cement curing in mixing with sufficiently concentrated (C > 20 %) solutions $MgCl_2$ is caused with the crystallization of oxyhydrochloride composition: $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ and $7MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}15H_2O$. In the lower concentration parts of $MgCl_2$ solution is formed a transitional compound of Mg[(OH)nCl_2-n] with isomorphous $Mg(OH)_2$ structure. At very low Cl concentration only $Mg(OH)_2$ is practically formed. ***Purpose.*** The Formation of water-resist magnesium silicate hydrates for obtaining of fast curing and solid structure of the magnesia stone. ***Conclusion.*** The dependence of the formation of the magnesia stone from the ratio

($MgO/MgCl_2$) of the magnesia cement (MgO) and the magnesium chloride solution ($MgCl_2$) of different density has been identified in order to obtain the best content for oxyhydrochloride $3MgO·MgCl_2·11H_2O$, $5MgO·MgCl_2·13H_2O$ and magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$). In putting into the system $MgO·–·H_2O$ of the silicic acid or fine ground quartz grains with size of less than 20 – 30 microns, over 1 month for the magnesium silicate hydrates formation is needed, where from 2 to 5 % of the total number of newgrowths are created. The study is proved by the expert opinion, that magnesium silicate hydrates do not have binding properties, unlike calcium silicate hydrates, and the main role in the system curing is played with the $Mg(OH)_2$ gel recrystallization, which provides the acceptable stone strength ($R \approx$ 30MPa) in a few years. It has been also established, that in mixing of cement with low concentration MgO solutions of less than 1,5 mol/l (or 13% 1,1g/sm^3), the final product in the stone structure is $Mg(OH)_2$. With increasing the sealer ($MgCl_2$ solution) there is formed by turn in structure $3MgO·MgCl_2·11H_2O$ and $5MgO·MgCl_2·13H_2O$. The increase of the sealer concentration to more than 2,5 mol/l (C = 21 % or 1,18 g/sm^3) leads to the formation of system $MgO·–·MgCl_2·–·H_2O$ consisting of a three phase of pentoxyhydrochloride ($5MgO·MgCl_2·13H_2O$), trioxyhydrochloride ($3MgO·MgCl_2·11H_2O$), and remains of non-reacted $Mg(OH)_2$. It has shown in the result of testing that the samples produced from the mixture of cement and bishofit with ρ = 1,28 g/sm^3 have the bigges strength.

Key words: *magnesia cement, magnesium chloride, sealer, curing time, crystallization, liquid phase, solid phase, x-ray phase analysis, differential and thermal analysis*

Введение. Физико-химические превращения лежат в основе процессов твердения магнезиального цемента. Как и при твердении других вяжущих, эти процессы приводят к возникновению новообразований, кристаллизация которых при определенных условиях и приводит к созданию структур твердения [1 – 7; 9].

Анализ публикаций. Исследование равновесий в системе $MgO·–·MgCl_2·–·H_2O$ (t = 20 – 50 °С) дало возможность выяснить состав равновесных твердых фаз [3]. В равновесии со слабыми растворами $MgCl_2$ находится $Mg(OH)_2$. При концентрации $MgCl_2$ выше некоторого значения стабильным соединением является $3MgO·MgCl_2·11H_2O$, а при концентрации $MgCl_2$, соответствующей его насыщенному раствору, – $3MgO·MgCl_2·11H_2O$, и $MgCl_2·6H_2O$. Концентрация раствора, соответствующая инвариантной точке сосуществования $Mg(OH)_2$ и $3MgO·MgCl_2·11H_2O$ лежит в пределах 5 – 15 % $MgCl_2$, а наиболее достоверной концентрацией следует считать 11 – 13 % (т. е. 1,25 – 1,5 моль $MgCl_2$ / л). При использовании затворителя с низкой плотностью – ρ = 1,16 г/см^3 (С ~20 %) для вяжущих с различной активностью, но в разной степени, наблюдается интенсивный процесс гидратации MgO [2]. Наибольшее количество $Mg(OH)_2$, до 48 % образуется при гидратации слабообожженного магнезита, имеющего структуру исходного MgO, близкую к аморфной. В этом случае магнезиальный камень формируется в основном из двух фаз: $Mg(OH)_2$ и $5MgO·MgCl_2·13H_2O$. При этом реакция образования гидрооксида магния протекает интенсивнее, чем формирование 5-оксигидрохлорида магния, хотя в начальный период твердения первой кристаллической фазой, формирующей камень, является 5-оксигидрохлорид магния. Триоксигидрохлорид магния в магнезиальном камне, полученном на высокоактивном цементе ($t_{обжига}$ = 800 °С, размер кристаллов 30 нм), затворенном $MgCl_2$ с ρ = 1,16 г/см^3, в период до 28 суток отсутствует.

В вяжущем, обожженном при более высокой температуре (~ 1 100 °С) и затворенном раствором $MgCl_2$ с ρ = 1,16 г/см^3, закономерности гидратационных процессов сохраняются. Однако в начальный период в структуре формирующегося камня отмечено дополнительное присутствие некоторого количества 3-оксигидрохлорида, который при увеличении содержания $Mg(OH)_2$, то есть щелочной среды формирующегося камня, вероятно, становится нестабильным и уже после семи суток твердения не обнаруживается ни на рентгенограммах, ни на дериватограммах. Из этого следует, что в высокощелочной среде 3-оксигидрохлорид нестабилен и может существовать как стабильная фаза только в кислой среде, создаваемой высококонцентрированными растворами $MgCl_2$.

Вопрос о составе продуктов твердения магнезиального цемента до настоящего времени остается в некоторой степени дискуссионным [1]. Исследование фазового соста-

ва продуктов при различных температурах (0 – 175 °С) показало [7], что в температурной области 0 – 100 °С существуют 5- и 3-окисные формы оксигидрохлорида. Пентаоксигидрохлорид существует только в интервале температур 0 – 25 °С, а сдвиг границы существования 3-оксигидрохлорида происходит с повышением температуры в область более высоких концентраций $MgCl_2$.

Вальтер-Леви и де-Вольф отмечают кристаллизацию метастабильного $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$, переходящего в стабильный оксигидрохлорид $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ [1]. В работе [7] 5-окисному оксигидрохлориду отводится область стабильного существования по концентрации раствора $MgCl_2$; авторы считают, что в качестве равновесных продуктов твердения магнезиального цемента могут быть смеси $Mg(OH)_2$-n $5Mg(OH)_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}8H_2O$, $Mg(OH)_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}8H_2O$. И. П. Выродов считает [5; 9], что твердение магнезиального цемента при затворении достаточно концентрированными (С > 20 %) растворами $MgCl_2$ обусловлено кристаллизацией оксигидрохлоридов состава: $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ и $7MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}15H_2O$. В области более низких концентраций раствора $MgCl_2$ образуется промежуточное соединение $Mg[(OH)_nCl_{2-n}]$, имеющее изоморфную структуру $Mg(OH)_2$. При очень малой концентрации Cl^- практически образуется только $Mg(OH)_2$.

Анализ многочисленных исследований показывает, что хотя в системе $MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}H_2O$ состав равновесных продуктов установлен достаточно полно, до сих пор остаются неясными общие закономерности кристаллизации нестабильных соединений и условия их перехода в конечный стабильный продукт; не установлен также окончательно характер новообразований, возникающих в процессе твердения магнезиального цемента, т. е. при взаимодействии MgO с растворами $MgCl_2$ в условиях концентрированных суспензий. Но в целом задача представляется разрешенной, так как в результате вышеперечисленных работ имеется четкая идентификация с помощью ДТА и рентгенофазового анализа минералов магнезиального камня, представленная на рисунках 1 и 2.

Результаты исследований. Для исследования кинетики кристаллизации новообразований был использован химически чистый MgCl2·6H2O с концентрацией 2,5 моль/л (С = 21 %; и ρ ~ 1,18 г/см^3), 3,8 моль/л (С ~ 29 %; ρ ~ 1,26 г/см^3), 4,3 моль/л (С ~ 32 %; ρ ~ 1,28 г/см^3), 4,5 моль/л (*С* ~ 32,45 %, ρ ~ 1,3 г/см^3), которым затворяли, обожженный при *t* = 970 °С магнезит (так как магнезит, обожженный при *t* = 800 °С и 1 150 °С, при твердении образует трещиноватую структуру магнезиального камня.

Изготовление растворов хлористого магния различной концентрации, титрование, установление pH растворов выполняли на кафедре аналитической химии ДГУ. Качественный и количественный рентгенофазовый и дифференциально-термический анализы продуктов твердения производили в специализированных лабораториях УГХТУ.

Концентрация раствора $MgCl_2$ и MgO влияют на гидратацию MgO и совместное образование в структуре магнезиального камня $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ и $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ и придание камню высоких прочностных характеристик. Если содержание в суспензии MgO составляет 1 г, а концентрация раствора $MgCl_2$ < 1,5 мол/л (С < 13 % или ρ < 1,1 г/см^3), то конечным продуктом твердения является $Mg(OH)_2$ [2]. При повышении концентрации раствора $MgCl_2$ < 1,5 моль/л; например, до C_{MgCl2} = 1,6461 моль/л (156,772 г/л или 14 %, либо ρ = 1,1198 г/см^3), то конечным продуктом кристаллизации становится $3MgO\ MgCl_2\ H_2O$. Если содержание MgO менее 3 г в 2,5 моль/л $MgCl_2$ (С ~ 21 %, либо ρ = 1,18 г/см^3), образуется только $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$. При содержании MgO в коротком промежутке от 4,0 г до 4,8 г и от 4,8 г до 5,4 г кристаллизуются оба оксигидрохлорида магния. Отметим это явление для дальнейших исследований.

С увеличением концентрации MgO выше 5,9 до 6,6 г/л образуется только $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ (табл. 1), термограмма

которого (рис. 1 *в*) характеризуется, прежде всего, в отличие от 3-гидрооксигидрохлорида, наличием эндотермического эффекта (рис. 1 *г*) при температуре 400 °С и менее глубокие при t = 170 – 180 °С.

При температуре, равной 360 – 370 °С и менее термограмма характеризуется глубокими эндоэффектами, чем у 3-окисного, имеющими другую форму при 130 – 140, 165 – 170, 205 – 220, 360 – 370, 410 – 420 и 480 – 500 °С (небольшой эффект ~ при 570 °С), $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}nH_2O$, полученный в пастах и высушенный при 60 °С, характеризуется кривой, приведенной на рисунке 1 *ж* (эндоэффекты при 160 – 170; 220 – 204; 350 – 370; 410 – 420 и 480 – 500 °С). Рентгенограмма (рис. 2 *д*) характеризует $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ как индивидуальное соединение, не являющееся смесью 3-оксигидрохлорида и $Mg(OH)_2$.

Кроме того, у $5MgOMgCl_2{\cdot}13H_2O$ на рентгенограмме основным межплоскостным расстоянием, подтверждающим его существование в твердой фазе d = 7,7 А (0,77 нм), в отличие от $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, где d = 8,3 Å (0,83 нм). Нами установлено, что с повышением концентрации до 4,5 моль/л раствора $MgCl_2$ и с концентрацией MgO в суспензии от 3 до 22 г происходят процессы кристаллизации, представленные в таблице 2. Если C_{MgO} = 3 г/л (C_{MgCl2} = 4,5 моль/л), то при pH = 5,95 – 6,05 в возрасте от 1 с до 30 суток образуется $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$. При увеличении C_{MgO} до 6 г при концентрации раствора $MgCl_2$ до 4,5 моль/л формируется $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}nH_2O$, а при C_{MgO} от 8,4 до 15 г с сохранением C_{MgCl2} = 4,5 моль/л образуется $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}nH_2O$, и только с возраста 30 суток при C_{MgO} > 15 г до 22 г кристаллизуется именно $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$.

При снижении концентрации раствора $MgCl_2{\cdot}6H_2O$, например до 4,3 моль/л при той же концентрации MgO в твердой фазе кристаллизуются оба оксихлорида (табл. 2 и рис. 3).

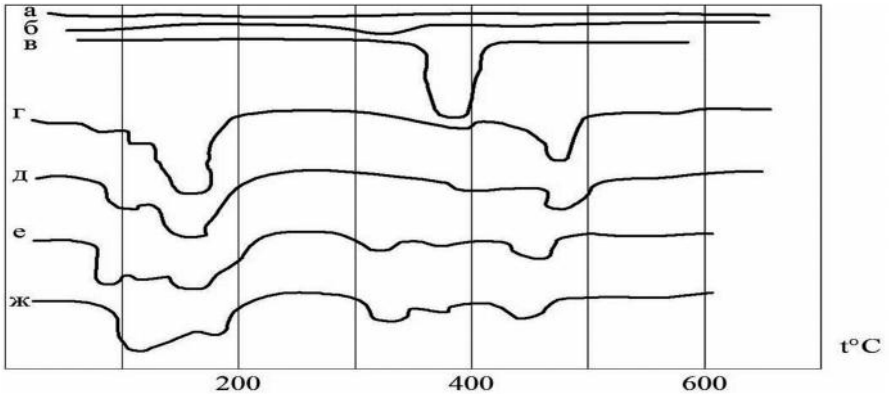


Рис. 1. Термограммы продуктов гидратации MgO:
а – MgO; б – MgO, промытый абсолютным спиртом; в – $Mg(OH)_2$;
г – $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ из раствора, высушенного при комнатной температуре;
д – $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}9{,}5H_2O$ из суспензии, высушенной при 60 °С;+
е – $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ из раствора, высушенного при комнатной температуре;
ж – $5MgO{\cdot}MgCl_2$ из пасты, высушенной при 60 °С

Таблица 1

Изменение концентрации в жидкой фазе и состава твердых фаз

Время твердения, сут./ч	Жидкая фаза			Твердая фаза			
	C_{MgO} (г/л)	C_{MgCl2} (моль/л)	pH раствора	MgO (%)	$MgCl_2$ (%)	H_2O (%)	Соотношение $MgO:MgCl_2:H_2O$
от 2 сут. до 40 сек.	от 1,0 до 4,5	2,5	от 7,53	от 30,1 до 29,2	от 23,4 до 22,6	от 46,5 до 48,2	от 3,03 : 1 : 10,50 до 3,05 : 1 : 11,26
от 1 сут. до 30 сек.	от 4,5 до 5,4		до 7,75	от 37,12 до 36,82	от 17,31 до 17,10	от 45,57 до 46,08	от 5,05 : 1 : 13,9 до 5,07 : 1 : 14,2
от 6 час. до 5 сут.	от 5,9 до 6,6	2,5	от 8,31 до 7,88	от 37,95 до 37,85	от 17,7 до 17,85	от 44,35 до 44,30	от 5,05 : 1 : 13,24 до 5,02 : 1 : 13,1

Расчет соотношения $MgO:MgCl_2:H_2O$ производится следующим образом. Например (из табл. 3), расчет триоксигидрохлорида магния:

1) проверяем сумму процентных содержаний компонентов:

2) MgO =30,15 % +$MgCl_2$ = 23,05 % + H_2O = 46,8 % = 100 %; определяем в частях долю каждого компонента путем деления процентного содержания на его молярную массу:MgO = 30,15 : 40,32 = 0,747; $MgCl_2$= 23,05 : 95,213 = 0,242; H_2O = 46,8 : 18 = 2,6;

3) определяем соотношение компонентов в триоксигидрохлориде путем деления частей каждого компонента на наименьшее значение (т. е. принимаем значение $MgCl_2$ за 1 – 0,747 : 0,242 : 2,6, тогда 3,08 : 1 : 10,74 и т. д.

Результаты дифференциально-термического анализа продуктов твердой фазы взаимодействия MgO с 4,3 молярным раствором $MgCl_2$ представлены на рисунке 3.

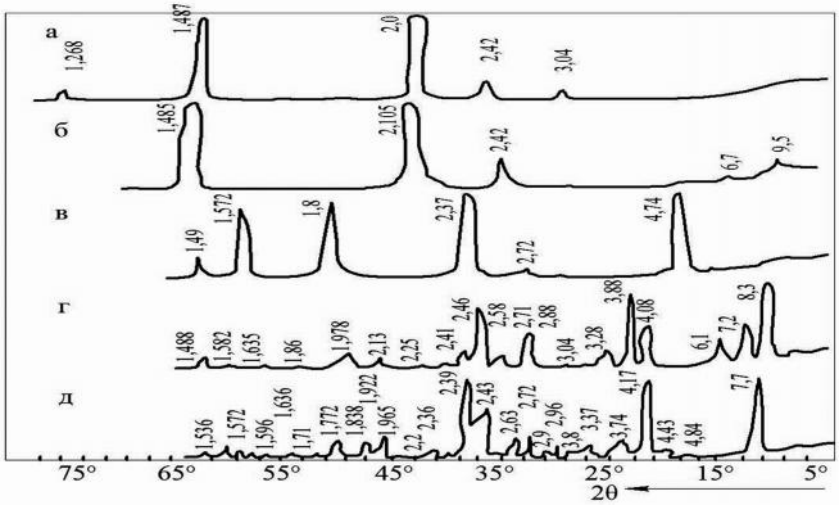


Рис. 2. Рентгенограмма твердых продуктов, полученных при гидратации MgO:
а – MgO; б – MgO (промытый спиртом); в – $Mg(OH)_2$; г – $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$; д – $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$

Таблица 2

Изменение концентрации в жидкой фазе и состава твердых фаз при кристаллизации из 4,5 моль/л раствора $MgCl_2$ 4,5 моль/л с различным содержанием MgO

Время твердения, час., сут.	Жидкая фаза			Твердая фаза			
	C_{MgO} (г/л)	C_{MgCl2} (моль/л)	pH раствора	MgO (%)	$MgCl_2$ (%)	H_2O (%)	Соотношение $MgO:MgCl_2:H_2O$
от 1 сут. до 30 сут.	3	4,5	от 5,95 до 6,05	от 29,1 до 27,8	от 21,9 до 22,1	от 44,0 до 49,1	от 3,13 : 1 : 11,83 до 2,97 : 1 : 11,66
от 6 час. до 30 сут.	6	4,5	6	от 38,22 до 38,1	от 18,3 до 17,9	от 43,48 до 44,0	от 4,94 : 1 : 12,58 до 5,02 : 1 : 13,00
от 30 сут. до 60 сут.	от 8,4 до 21,9	4,5	от 6,65 до 6,07	от 30,1 до 29,8	от 23,1 до 22,6	от 46,8 до 47,6	от 3,06 : 1 : 10,69 до 3,11 : 1 : 11,15

Таблица 3

Изменение концентрации в жидкой фазе и состава твердых фаз при кристаллизации из 57 мл 4,3 моль/л раствора $MgCl_2$ с различным исходным содержанием MgO

Время твердения, час., сут.	Жидкая фаза			Твердая фаза			
	C_{MgO} (г/л)	C_{MgCl2} (моль/л)	pH раствора	MgO (%)	$MgCl_2$ (%)	H_2O (%)	Соотношение $MgO:MgCl_2:H_2O$
от 10 час. до 25 сут.	20	4,3	5	от 38,9 до 36,6	от 17,1 до 16,95	от 44,0 до 46,45	от 5,37 : 1 : 13,6 до 5,09 : 1 : 14,4
от 25 сут. до 100 сут.	20	4,3	4,5	от 30,15 29,30 до 28,9	от 23,05 22,4 до 22,2	от 46,8 48,3 до 48,9	от 3,08 : 1 : 10,74 3,09 : 1 : 11,4 до 3,03 : 1 : 11,6

Присутствие в структуре камня обоих оксигидрохлоридов обуславливает его прочность, которая, кроме этого, зависит в начальный период ее роста от степени гидратации MgO перед затворением и концентрацией $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Для свежеобожженного MgO при меньшей концентрации $MgCl_2$ достигается большая скорость схватывания, чем при более высокой концентрации для цемента, поглотившего влагу при хранении. Образование трещин при твердении раствора обуславливается избытком MgO. Повышение плотности раствора $MgCl_2$ выше ρ = 1,176 г/см^3, как подчеркивается в работе [8], вызывает значительное увеличение прочности магнезиального камня.

Измельченные остатки образцов исследовались с помощью качественного и количественного рентгенофазового, дифференциально-термического и электронномикроскопического анализа с целью определения структуры образцов, изготовленных из смеси цемента, затворенного бишофитом с разными плотностями.

Установлено, что структура образцов, изготовленных из цемента и затворенного более концентрированным раствором бишофита, более прочная, благодаря высокому процентному содержанию обоих оксигидрохлоридов магния и низкому содержанию $Mg(OH)_2$ и MgO, что способствует такому камню быть трещиностойким.

Разработанная композиция может быть использована в качестве матрицы для изготовления строительных изделий различного назначения.

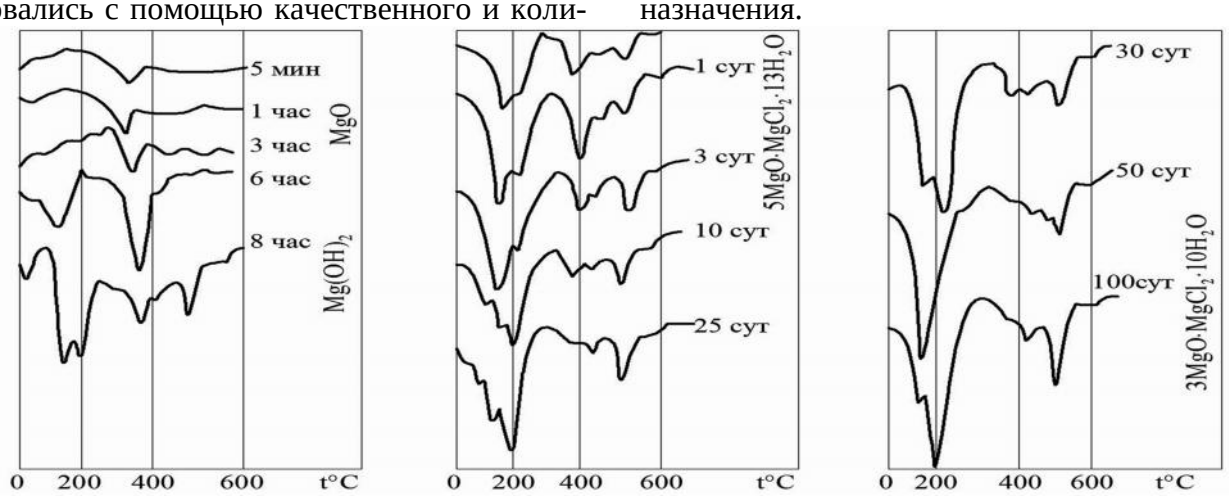


Рис. 3. Термограммы твердых фаз, образующихся при взаимодействии MgO(2O$_2$) с 4,3 молярным раствором (ρ ~ 1,28 г/см^3) $MgCl_2$ (57 мл)

Выводы. Выявлена зависимость формирования структуры магнезиального камня от соотношения ($MgO/MgCl_2$) магнезиального цемента (MgO) и раствора хлористого магния ($MgCl_2$) различной плотности для образования оптимального содержания оксигидхлоридов $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ и гидрата окси магния ($Mg(OH)_2$).

Установлено, что при затворении цемента MgO растворами низкой концентрации менее 1,5 моль/л (13 % или 1,1 г/см^3) конечным продуктом в структуре камня является $Mg(OH)_2$. При повышении концентрации затворителя (раствор $MgCl_2$) в структуре образуются по очереди $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$ и $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$. Увеличение концентрации затворителя более 2,5 моль/л (*C*=21 % или 1,18 г/см^3) приводит к образованию системы $MgO \cdot – \cdot MgCl_2 \cdot – \cdot H_2O$, которая состоит из трех фаз пентаоксигидрохлорида ($5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$) триоксигидрохлорида ($3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$), остатков не прореагировавшего $Mg(OH)_2$.

В результате испытаний было установлено, что образцы, изготовленные из смеси цемента и бишофита с ρ = 1,28 г/см^3, обладают наиболее высокой прочностью.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беллашин Л. И. Инфракрасные спектры молекул / Л. И. Беллашин ; пер. с англ. В. М. Акимова [и др.] ; под ред. Д. И. Щигорина. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1957. – 68 с.
2. Ваганов А. П. Ксилолит / А. П. Ваганов. – Ленинград ; Москва : Госстройиздат, 1959. – 144 с.
3. Войвад А. Я. Магнезиальные вяжущие вещества / А. Я. Войвад. – Рига : Зинатне, 1971. – 331 с.
4. Композиция на основе магнезиального вяжущего : пат. 2238251 Российская Федерация, МПК C04 B 28/30 / Горбаненко В. М., Крамар Л. Я., Трофимов Б. Я., Королев А. С., Нуждин С. В. ; патентообладатель Горбаненко В. М. – Заявл. 29.07.2002 ; опубл. 20.10.2004, Бюл. № 26.
5. Киллессо С. И. Декоративный бетон в архитектуре / С. И. Киллессо. – Москва : Стройиздат, 1941. – 66 с.
6. Мчеднов-Петросян О. П. Структурообразование в дисперсных системах с добавкой активного кремнезёма / О. П. Мчеднов-Петросян // VI республиканская конференция по физикохимии, технологии получения и применения промывочных жидкостей, дисперсных систем и тампонажных растворов (Ивано-Франковск, октябрь-ноябрь 1985) : тез. докл. – Киев, 1985. – Ч. 1. – С. 100-101.
7. Использование отхода производства ферро / Трофимов Б. Я., Горбунов С. П., Крамар Л. Я., Жуков И. В., Башев В. А., Иванов Ф. М., Капкин М. М. // Бетон и железобетон. – 1987. – № 4 – С. 39-41.
8. Урецкая Е. А. Сухие строительные смеси : материалы и технологии : науч.-практ. пособие / Е. А. Урецкая, Э. И. Батяновский. – Минск : Стринко, 2001. – 198 с.
9. Helland S. Silika tillenthingstood for betong / S. Helland // Nordisk beting. – 1986. – № 3. – P. 15-19.

REFERENCES

1. Bellashin L.I. *Infrakrasnye spektry molekul* [Infrared spectra of molecules]. Moscow: Izd-vo inostr. lit., 1957, 68 p. (in Russian).
2. Vaganov A.P. *Ksilolit* [Xylene]. Leningrad, Moscow: Gosstrojizdat, 1959, 144 p. (in Russian).
3. Vojvad A.Ya. *Magnezial'nye vyazhuschie veschestva* [Magnesia binders]. Riga: Zinatne, 1971, 331 p. (in Russian).
4. Gorbanenko V.M., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Korolev A.S. and Nuzhdin S.V. *Kompozitsiya na osnove magnezial'nogo vyazhuschego* [The composition on the base of magnesia binders]. Pat. 2238251 Rossiyskaya Federatsiya: MPK S04 V 28/30.
5. Killesso S.I. *Dekorativnyy beton v arkhitekture* [Decorative Concrete in Architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1941, 66 p. (in Russian).
6. Mchednov-Petrosyan O.P. *Strukturoobrazovanie v dispersnykh sistemakh s dobavkoy aktivnogo kremnezyoma* [Structure formation in dispersed systems with the addition of active silica]. *VI respublikanskaya konferentsiya po fizikokhimii, tekhnologii polucheniya i primeneniya promyvochnykh zhidkostey, dispersnykh sistem i tamponazhnykh rastvorov (Ivano-Frankovsk, oktyabr'-noyabr' 1985)* [VI Republican conference on physical chemistry, technology of production and application of drilling fluids, dispersions system and cement slurry (Ivano-Frankivsk, October-November 1985)]. Kiev, 1985, vol. 1, pp. 100-101. (in Russiaan).
7. Trofimov B.Ya., Gorbunov S.P., Kramar L.Ya., Zhukov I.V., Bashev V.A., Ivanov F.M. and Kapkin M.M. *Ispol'zovanie otkhoda proizvodstva ferro* [The use of manufacturing ferro waste]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1987, no. 4, pp. 39-41. (in Russian).
8. Uretskaya E.A. and Batyanovskiy E.I. *Sukhie stroitel'nye smesi : materialy i tekhnologii* [Dry construction mixtures: materials and technologies]. Minsk: Strinko, 2001, 198 p. (in Russian).
9. Helland S. *Silika-tillenthingstood for Betong. Nordisk Beting*. 1986, no. 3, pp. 15-19.

Стаття рекомендована до друку 15.08.2015 р. Рецензент: д-р. т. н., проф. М. В. Шпірько.

Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.

АРХІТЕКТУРА

УДК 727.1

THE EXPERIENCE OF FORMATION OF ESTABLISHMENTS OF OUT - SCHOOL EDUCATION IN UKRAINE

KOVALSKA G. L.[1*], *Cand. Sc. (Arch.), Assoc. Prof.,*
MERYLOVA I. O.[2*], *postgraduate student.*

[1*] Department of architectural environment design, State Higher Education Establishment «Kyiv National University of Constraction and Architecture», 31, Povitroflotsky Avenue, Kyiv-037, 03680 Ukraine, contact +38 (044) 241-55-80, e-mail: gelena.k@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9873-5413.

[2*] Department of architectural planning and design, State Higher Education Establishment «Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevsky str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, contact +38 (0562) 46-98-88, e-mail: irina_merilova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5375-1359.

Summary. Problem statement. Modern socio-economic conditions set new educational challenges in Ukraine influencing on the town planning aspects of development the network of different types of educational establishments, their location in building, architectural solutions. Ukrainian national model of out-school education is unique and reflects social and national specification of pedagogical development. All integrated innovations should be thoroughly comprehended and analyzed. During the years of development an extensive network of out-school education in the cities of Ukraine has been developed. There is a marked shortage of out-school educational establishments. Youth palaces of old type are not working at present. School clubs are not numerous and depressive with tendency to be totally eliminated. Unfortunately, existing normative base is still insufficient for complete extracurricular establishment network creation. ***Article's purpose.*** To analyze problems, concerning out-school educational network formation and to provide suggestions regarding the calculation of the area of land plot. ***Conclusions***. A number of issues stipulated by lack of appropriate scientific and conceptual works and regulatory parameters while improving of the network of out-school educational establishments arises. The problem areas in the regulatory framework are pointed out and possible solution has been proposed. The earlier a work program, authorized by the general out-school educational development will be formulated, the sooner the network of out-school establishments and improvement of quality of architectural and town planning solutions will be appeared.

Key words*:* *out-school education, out-school educational establishments, out-school educational system, out-school educational establishment's network's, types of out-school educational establishments buildings.*

ДОСВІД ФОРМУВАННЯ ЗАКЛАДІВ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ

КОВАЛЬСЬКА Г. Л.[1*], *к. арх., доц.,*
МЕРИЛОВА І. О.[2*], *асп.*

[1*] Кафедра дизайну архітектурного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Київський національний університет будівництва та архітектури», пр. Повітрофлотський, 31, Київ-037, 03680 Україна, тел. +38 (044) 241-55-80, e-mail: gelena.k@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9873-5413.

[2*] Кафедра архітектурного проектування і дизайну, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-88, e-mail: irina_merilova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5375-1359.

Анотація. Постановка проблеми. Сучасні соціально-економічні умови в Україні ставлять перед освітою нові завдання, які впливають на містобудівні аспекти розвитку мережі різних типів навчальних закладів, їх розміщення в забудові та архітектурні рішення навчальних корпусів. Українська національна модель позашкільної освіти унікальна і відображає національну специфіку розвитку суспільства та педагогічної науки. Всі інтегровані нововведення повинні бути чітко проаналізовані, осмислені та перероблені. В процесі багаторічного розвитку в провідних містах України склалася розгалужена мережа закладів освіти. Позашкільних навчальних закладів не вистачає: старі палаци піонерів не функціонують, гуртки та секції при школах не численні і депресивні, аж до повної ліквідації. На жаль, існуюча нормативна база недостатня для створення повноцінної мережі позашкільних навчальних закладів. ***Мета статті -*** проаналізувати питання

формування мережі позашкільних навчальних закладів, надати пропозиції стосовно розрахунку площі земельних ділянок. ***Висновки.*** У ході удосконалення мережі позашкільних навчальних закладів виникає низка питань, зумовлених відсутністю відповідних науково-концептуальних розробок та нормативних параметрів. Ця стаття покликана позначити проблемні зони в нормативній базі та можливі шляхи їх вирішення. Чим раніше буде сформована відповідна робоча програма загального розвитку позашкільної освіти, тим скоріше з'явиться інструмент удосконалення мережі позашкільних закладів освіти та підвищення якості архітектурно-містобудівних рішень.

Ключові слова*: позашкільна освіта, заклад позашкільної освіти, система позашкільної освіти, мережа закладів позашкільної освіт, типи будівель позашкільних закладів освіти*

ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАВЕДЕНИЙ ВНЕШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УКРАИНЕ

КОВАЛЬСКАЯ Г. Л.[1*], *к. арх., доц.,*
МЕРИЛОВА И. А.[2*], *асп.*

[1*] Кафедра дизайна архитектурной среды, Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный университет строительства и архитектуры», пр. Воздухофлотский, 31, Киев-037, 03680, Украина, тел. +38 (044) 241-55-80, e-mail: gelena.k@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9873-5413.

[2*] Кафедра архитектурного проектирования и дизайна, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-88, e-mail: irina_merilova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5375-1359.

Аннотация. Постановка проблемы. Современные социально-экономические условия в Украине ставят перед образованием новые задачи, которые влияют на градостроительные аспекты развития сети различных типов учебных заведений, их размещения в застройке и архитектурные решения учебных корпусов. Украинская национальная модель внешкольного образования уникальна и отражает национальную специфику развития общества и педагогической науки. Все интегрируемые нововведения должны быть четко проанализированы, осмыслены и переработаны. В процессе многолетнего развития в ведущих городах Украины сложилась разветвленная сеть учебных заведений**.** Внешкольных учебных заведений хронически не хватает: старые дворцы пионеров не функционируют, кружки и секции при школах малочисленны и депрессивны, вплоть до полной ликвидации. К сожалению, сложившаяся нормативная база пока недостаточна для создания полноценной сети внешкольных учебных заведений. ***Цель статьи*** **-** проанализировать вопросы формирования сети внешкольных учебных заведений, предоставить предложения относительно расчета площади земельных участков. ***Выводы.*** При усовершенствовании сети внешкольных учебных заведений возникает ряд вопросов, обусловленных отсутствием соответствующих научно-концептуальных разработок и нормативных параметров. Данная статья призвана обозначить проблемные зоны в нормативной базе и возможные пути их решения. Чем раньше будет сформирована соответствующая рабочая программа общего развития внешкольного образования, тем скорее появится инструмент совершенствования сети внешкольных учебных заведений и повышения качества архитектурно-градостроительных решений.

Ключевые слова*: внешкольное образование, заведение внешкольного образования, система внешкольного образования, сеть заведений внешкольного образования, типы зданий внешкольных учебних заведений*

Modern socio-economic conditions in Ukraine set new educational challenges which affect the urban aspects of the network of different types of schools, their location in building, architectural solutions. One of the important components of the overall educational system is extracurricular educational establishments.

The law guarantees that extracurricular education provides needs of individuals in creative, spiritual and physical development, creating conditions for active, professional and social activities for individuals in their free time from studies in general and other educational establishments. Cultural, educational, sports, scientific and research societies, groups, clubs in the communities are considered to be extracurricular establishments [1, 2].

During the years of development an extensive network of extracurricular education has been developed in the cities of Ukraine. According to statistics, extracurricular establishments are most extensively used by children and adolescents in Chernihiv, Kyiv, Cherkasy,

and Kirovohrad. Extracurricular establishments in Sumy, Poltava, Kharkiv are considered to be balanced according to different types of activity: sports, arts, science and technology work (Fig. 1) [10].

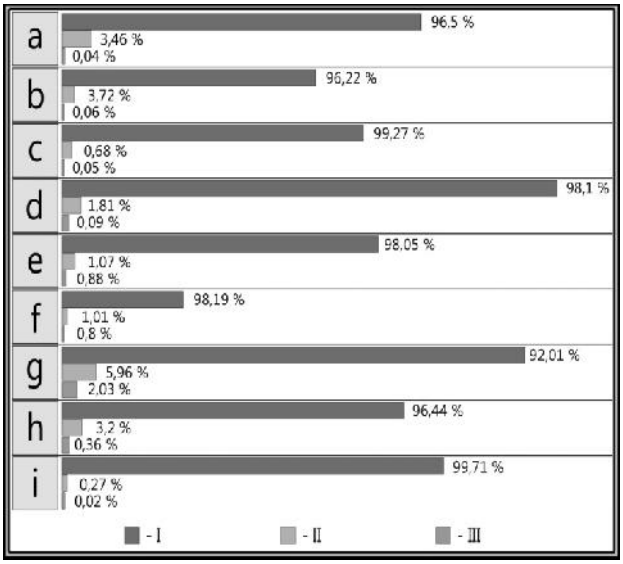


Fig. 1. Statistics of different types of children's activity in Ukraine:
a - Lviv-Uzhhorod-Ivano-Frankivsk-Chernivtsi; b - Lutsk-Rivne-Zhytomyr; c - Ternopil-Khmelnytskyi-Vinnytsia; d – Chernihiv-Kyiv-Cherkasy-Kirovohrad; e - Odessa- Mykolaiv- Kherson; f - Simferopol; g – Sumy-Poltava- Kharkiv; h - Dnipropetrovsk- Zaporizhia; I - Donetsk- Luhansk;
I - sport; II - culture; III – science

Kyiv Palace for Children and Youth, - Kyiv former Palace of Pioneers and schoolchildren by Ostrovsky, - was built on the square of Slava (Fame) in Kiev in 1965. It is the central extracurricular city establishment (built by architects A. M. Myletskyy, E. A. Bielskoy etc.). Architectural and planning solution of the Palace is simple and comfortable: two horizontal vestibule blocks and classrooms are combined with a free round (Fig. 2).

The three-story building of the palace is designed for 26500 children to study simultaneously. There are 180 rooms in the Palace, including 130 rooms, laboratories, groups, a movie theater (200 seats), and meeting rooms. The interiors are decorated with mosaics and coinage [7].

Network of extracurricular education in Dnipropetrovsk region has been actively growing. First extracurricular educational establishments origins in Dnipropetrovsk are associated with the activities of prominent historian, writer and public figure Dmitry Ivanovich Yavornytsky who was a Chairman of Katerynoslavs'ka «Prosvita» in pre-revolutionary period.

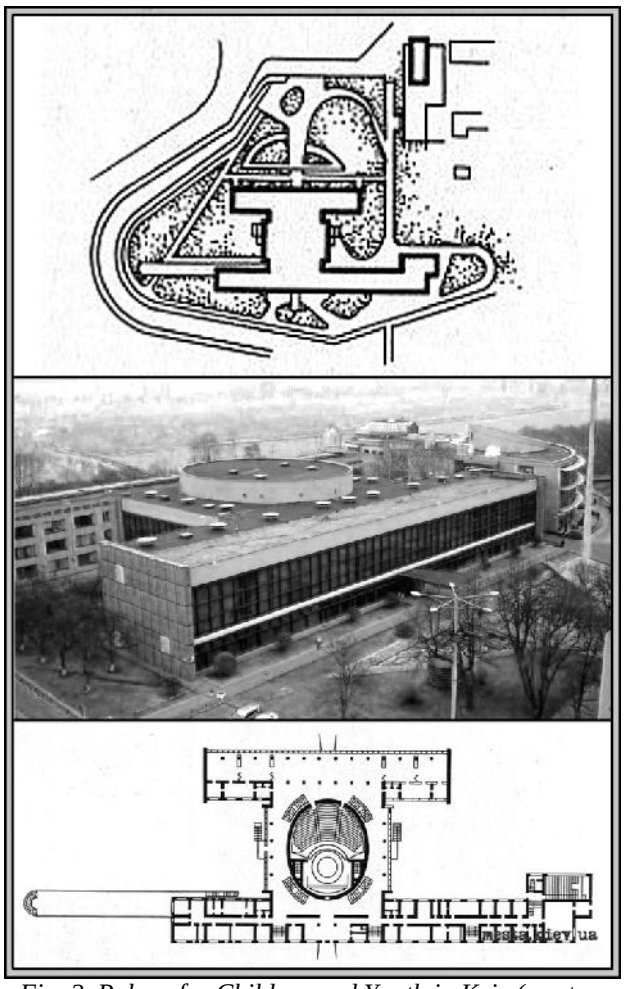


Fig. 2. Palace for Children and Youth in Kyiv (master plan, perspective and plan for the first floor)

The first extracurricular educational establishments on the modern Dnipropetrovs'k regional territory are considered to be a small club house in Amur-Nyzhniodniprovs'ky district and the house of «Prosvita» in the suburban village Manuylivka (Fig. 3), built in the original «Ukrainian Modernism» style features by project engineer I. M. Truba. In the early twentieth century 10 more children care centers were opened in Katerinoslav villages [3, 5].

A pioneer City Palace was considered to be the main extracurricular educational establishment in Dnipropetrovs'k since 1934. It was located in the former governor mansion. A palace of Culture patronized by a Petrovsky plant, built according to architect O. L. Krasnosyelsky's project, was used for extracurricular activities (Fig. 4). Numerous stud-

ies, library, theater and cinema, Bandurist Chapel and Philharmonic Society were housed in the building [4].

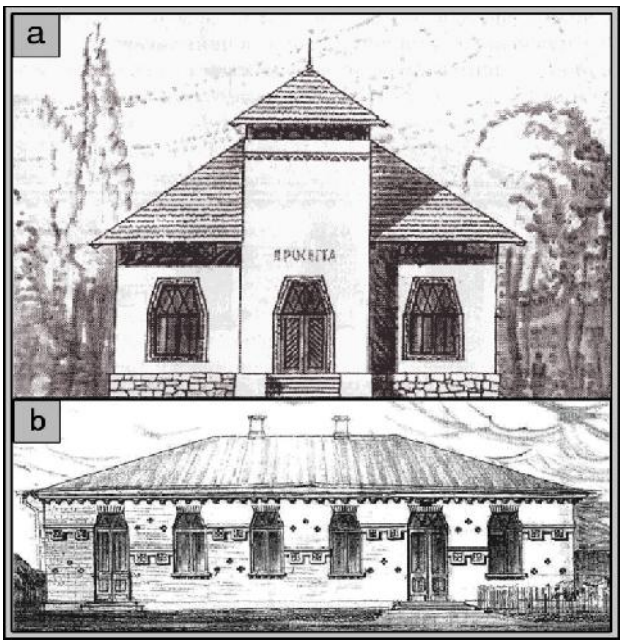


Fig. 3.: a - Project of a society building «Prosvita» near Katerynoslav, 1900 p,); b - The Society House Club «Prosvita» in the village Mykhailivka near Katerynoslav, 1909)

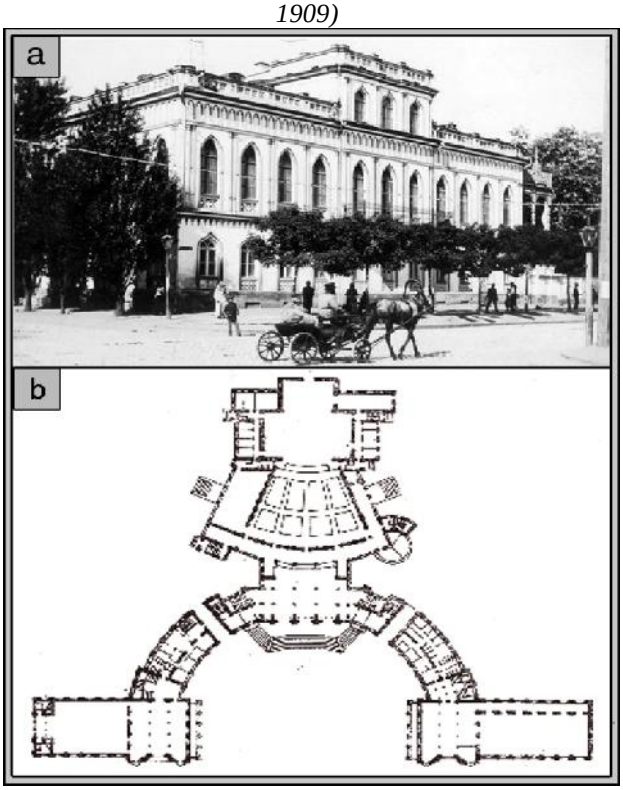


Fig. 4.: a - City Palace of Pioneers from 1934 to 1983 (former gubernatorial estate);
b - Palace of Culture by Petrovsky, being patronized by Petrovsky plant (plan)

The Palace of Children and Young People was designed by architect E. Amos, T. Solodovnikova, V. Garcia Ortega et al in Dnipropetrovs'k (1990). This Palace was not only a leading extracurricular establishment but also a dominant architectural and compositional centre in the surrounding area (Fig. 5) [6].

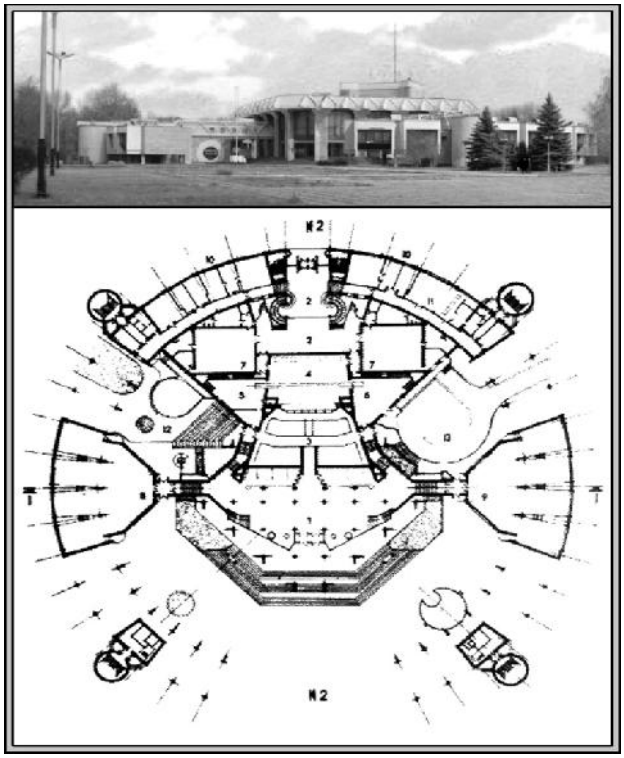


Fig. 5: Modern City Palace of Children and Youth in Dnipropetrovs'k (perspective and plan for the first floor)

The Palace building is two-three-storeyed, circular in plan, with dimensions of outer diameter 105 m. Three-dimensional arrangement was designed into three parts.

The central cube, which houses the auditorium with 500 seats and lobby, is surrounded by a horseshoe where group rooms are situated. Ring of the two-storeyed part, connected with the central three-storeyed one in five places, forms semi-enclosed patios of different functions.

Unfortunately, this is actually the only building for extracurricular activity, built in Dnipropetrovs'k 30 years ago. Currently Dnipropetrovs'k city has 21 extracurricular educational institutions and a group of private ownership clubs and studios. Most of children extracurricular establishments are housed in rented buildings where technical indicators, such as insolation or sound insulation standards, were not designed for group studying. Some children establishments are actually in a

poor condition that's why there is urgent necessity to improve extracurricular educational institutions network according to regulatory requirements and new pedagogical approaches to generation educational process of young generations.

Extracurricular establishments are locally located in residential areas. In Ukrainian extracurricular institution standard documentation there were listed rules on the number of students in the institution but walking radii distance and size of land are not defined. Ukraine hasn't got any domestic research and guidance on these issues. The prospects of school educational institutions development concept, including theoretical model of teaching and material resources must be created in order to improve extracurricular educational network.

Perhaps, along with the construction of some extracurricular establishments it is rational to create surrounding children groups, built environment in residential constructions. It should be mentioned that Ukraine has already had some experience. Introduction of compulsory groups and clubs for school students and extracurricular facilities and school building blocking is necessary (this model is common in Japan and other countries). Deviant youth public centers and private schools network creation is also possible (the concept of care model in Western Europe) etc.

If we consider extracurricular establishments as clubs for cultural work, leisure and amateur activities, for their construction DBN V.2.2-16-2005 «Entertaining and Leisure institutions» basis can used [8].

System of normative documents in construction MNYYP's: «Culture, recreation, sports and health objects» can be recommended for extracurricular educational establishments network design and also may be useful to calculate the area of land [9].

For extracurricular establishments general development land area can be taken at the rate of 30-45 square meters. Land area per one place is equivalent to 7-10 square meters per one student.

Table 1

Land areas forchildren and youth clubs

Capacity of children clubs: (engaged / seats)	40 / 10	70 / 15	100 / 20	150 / 30	200 / 50
Land area (sq. M)	300 - 400	500 - 600	700 - 900	1000 - 1400	1500 - 2000
Capacity of neighborhoods clubs (engaged seats)	100 / 20	200 / 50	350 / 80	500 / 100	650 / 150
Land area (sq. M)	700-1000	1500-2000	2500-3000	3500-4000	5000-7000

Conclusion. Consequently, a number of issues connected with improvement of extracurricular educational network has been arisen due to the lack of relevant scientific and conceptual works and regulatory parameters. The problem areas in the regulatory framework are pointed out and possible solution has been proposed. The earlier a work program, authorized by the general extracurricular educational development, is formulated the sooner the network extracurricular establishments improving tool influences architectural and urban planning solutions.

REFERENCES

1. Verhovna Rada Ukrainy. *Pro osvitu : Zakon Ukrainy vid 23 travnia 1991 № 1060–XII zi zminamy. Zakonodavstvo Ukrainy u sferi osvity ta profesiynogo navchanya.* [About education: The law of Ukraine dated 23.05.1991 № 1060–XII with changes. Ukraine's legislation on education and training]. Kyiv, 2013, pp. 4-43. (in Ukrainian).
2. Verhovna Rada Ukrainy. *Pro pozashkil'nu osvitu : Zakon Ukrainy vid 23 chervnia 2000 № 1841–III zi zminamy. Zakonodavstvo Ukrainy u sferi osvity ta profesiynogo navchanya.* [About out- school education dated 23.06.2000 № 1841–III with changes. Ukraine's legislation of education and training]. Kyiv, 2013, pp. 163-190. (in Ukrainian).
3. Abrosimova S. and Zhurba O. *Istorii suspilnogo zhyttia Katerynoslava na pochatku XX st*. [The history of social life of Yekaterinoslav on the ear of the XX century]. *Doslidzhennia iz istorii Prydniprovia Sotsialni vidnosyny ta syspilna dumka* [Research of the history of Prydniprovia. Social relationship and public opinion]. Dnipropetrovsk, 1991, pp. 63-67. (in Ukrainian).

4. *Byvshiy dvorets kultury im. Ilicha (Dnipropetrovsk).* [Former palace of culture named after Illich]. *Wikimapia. Karta, sozdavaemaya vami!* [The map is being created by you!]. Available at: http://wikimapia.org/6784472/ru/Бывший-дворец-культуры-им-Ильича. (in Russian).
5. Chepelyk V.V. *Ukrainskyi arkhitekturnyi modern* [Ukrainian architectural modernism]. Kyiv: KNUCA, 2000, 378 p. (in Ukrainian).
6. *Istoriia palatsu* [The history of palace]. *Miskyi palats ditey ta yunatstva m. Dnipropetrovsk* [The city palace of children and youth of Dnipropetrovsk]. Available at: http://palace.dp.ua/index.php/pro-palats/istoriya-palatsu (in Ukrainian).
7. *Kievsky dvorets pionerov i yunoshestva im. Ostrovskogo*. [The Kiev palace of pioneers and youth named after Ostrovsky]. *Ladoni: mesta.kiev.ua.* Available at: http://mesta.kiev.ua/popular/155-kievskijj-dvorec-pionerov-i-junoshestva.html (in Russian).
8. Derzhbud Ukrayiny. *Budynky i sporudy. Kulturno-vidovishni ta dosugovi ustanovy: DBN V.2.2-16-2005.* [Houses and structures. Cultural and entertaining esteblishment: State Constraction norm V.2.2-16-2005]. Kyiv, 2005, 63 p. (in Ukrainian).
9. Pravitel'stvo Moskvy and Moskomarkhitektura. *Rekomendacii po proektirovaniyu seti uchrezhdeniy dlya g. Moskvy. Vypusk 3: Detsko-podrostkovye kluby*. [Recommendations on designing of network of esteblishment for Moscow. Iss. 3: Children and youth clubs no.14]. Moscow, 1998. Available at: http://tehnorma.ru/normativbase/9/9160/index.htm (in Russian).
10. *Regiony Ukrainy*. *Statisticheskiy sbornik* [Regions of Ukraine. Statistical digest]. 2013. Available at: http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ2_u.html (in Ukrainian).

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Про освіту : Закон України [прийнятий 23 травня 1991 р. № 1060–XII зі змінами] / Верховна Рада України // Законодавство України у сфері освіти та професійного навчання : зб. законодав. актів : станом на 1 лют. 2013 р. / Верховна Рада України, Комітет з питань науки і освіти. - Офіц. Вид. - Київ, 2013. - С. 4-43.
2. Про позашкільну освіту : Закон України [прийнятий 23 червня 2000 р. № 1841–III зі змінами] / Верховна Рада України // Законодавство України у сфері освіти та професійного навчання : зб. законодав. актів : станом на 1 лют. 2013 р. / Верховна Рада України. Комітет з питань науки і освіти. - Офіц. видання. - Київ, 2013. - С. 163-190.
3. Абросимова С. Історії суспільного життя Катеринослава на початку XX ст. / С. Абросимова, О. Журба // Дослідження з історії Придніпров'я. Соціальні відносини та суспільна думка : зб. наук. праць. - Дніпропетровськ, 1991. - С. 63–67.
4. Бывший дворец культуры им. Ильича (Днепропетровск) // Wikimapia. Карта, создаваемая вами! - Режим доступу: http://wikimapia.org/6784472/ru/Бывший-дворец-культуры-им-Ильича.
5. Чепелик В. В. Український архітектурний модерн / В. В. Чепелик. - Київ : КНУБА, 2000. - 378 с.
6. Історія палацу // Міський палац дітей та юнацтва м. Дніпропетровськ. - Режим доступу: http://palace.dp.ua/index.php/pro-palats/istoriya-palatsu.
7. Киевский дворец пионеров и юношества им. Островского // Ладони : mesta.kiev.ua. - Режим доступу: http://mesta.kiev.ua/popular/155-kievskijj-dvorec-pionerov-i-junoshestva.html
8. Будинки і споруди. Культурно-видовищні та досугові установи : ДБН В.2.2-16-2005 / Держбуд України. – На заміну ВСН 45-86 ; чинні від 1 квітня 2006 року. – Видання офіц. – Київ, 2005. –63 с. – (Державні будівельні норми України).
9. Рекомендации по проектированию сети учреждений для г. Москвы. Вып. 3 : Детско-подростковые клубы : от 29.04.98 г. № 14 / Правительство Москвы, Москомархитектура. – Москва, 1998. – Режим доступа: http://tehnorma.ru/normativbase/9/9160/index.htm.
10. Регіони України : стат. зб. – 2013. – Режим доступу: http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ2_u.html

Стаття рекомендована до друку 18.08.2015 р. Рецензент: к. т. н., проф. О. В. Челноков.

Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.