

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

ВІСНИК

**ПРИДНІПРОВСЬКОЇ
ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у травні 1997 року

**№ 3 (253-254)
травень – червень 2019**

Дніпро 2019

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ :

Головний редактор	В. І. Большаков, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро
Заступник головного редактора	В. В. Данішевський, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро
Відповідальний секретар	О. А. Тимошенко, к-т техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро
Видавничий редактор	О. А. Тимошенко, к-т техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. А. І. Білоконь, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. В. С. Вахрушева, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків. С. І. Губенко, д-р техн. наук, Національна металургійна академія України, Дніпро. В. М. Дерев'яно, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Є. А. Єгоров, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. Є. І. Заяць, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. В. Л. Красовський, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. В. З. Куцова, д-р техн. наук, Національна металургійна академія України, Дніпро. Д. В. Лаухін, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. А. В. Мішутін, д-р техн. наук, ДВНЗ «Одеська державна академія будівництва та архітектури», Одеса. В. Р. Млодецький, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. М. І. Нетеса, д-р техн. наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. В. Д. Петренко, д-р техн. наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро. С. З. Поліщук, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. М. В. Савицький, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА (Дніпро). В. Л. Сєдін, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. С. О. Слободянюк, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. Г. Д. Сухомлин, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. Л. А. Хмара, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. С. В. Шатов, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, Дніпро. М. В. Шпирько, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Едіт Барна, к-т техн. наук, Будапештський технічно-економічний університет, Будапешт (Угорщина). Анна Бач, д-р арх-ри, Вроцлавський університет, Вроцлав (Польща). Александр Корякінс, д-р техн. наук, Ризький технічний університет, Рига (Латвія). В. І. Куксенко, к-т техн. наук, Управління з атомної енергії Великобританії, Оксфорд (Великобританія).

Науково-практичний журнал входить	до переліку №1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 07.10.2015 № 1021
Свідоцтво про Державну реєстрацію	друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 22724-12624ПР – видане Міністерством юстиції України 4 травня 2017 р.
Засновник та видавець	Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Виходить 6 разів на рік
Рекомендовано до друку	вченою радою академії, протокол № 13 від 04.07.2019 р.
Сайт видання	http://visnyk.pgasa.dp.ua
Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний 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, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського
	Художній і технічний редактор С. Д. Моїсеєнко Перекладач П. М. Стехна Редактор та коректор В. Д. Маловик

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

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

ВЕСТНИК

**ПРИДНИПРОВСКОЙ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в мае 1997 года

**№ 3 (253-254)
май – июнь 2019**

Днепро 2019

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

<i>Главный редактор</i>	В. И. Большаков, д-р техн. наук, <i>ГВУЗ ПГАСА, Днепро</i>
<i>Заместитель главного редактора</i>	В. В. Данишевский, д-р техн. наук, <i>ГВУЗ ПГАСА, Днепро</i>
<i>Ответственный секретарь</i>	Е. А. Тимошенко, к-т техн. наук, <i>ГВУЗ ПГАСА, Днепро</i>
<i>Выпускающий редактор</i>	Е. А. Тимошенко, к-т техн. наук, <i>ГВУЗ ПГАСА, Днепро</i>

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

А. С. Беликов, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. А. И. Белоконь, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. В. С. Вахрушева, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, *Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*. С. И. Губенко, д-р техн. наук, *Национальная металлургическая академия Украины, Днепро*. В. Н. Деревянко, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Е. А. Егоров, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Е. И. Заяц, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Ю. А. Киричек, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Т. С. Кравчуновская, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. В. Л. Красовский, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. В. З. Куцова, д-р техн. наук, *Национальная металлургическая академия Украины, Днепро*. Д. В. Лаухин, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. А. В. Мишутин, д-р техн. наук, *ГВУЗ «Одесская государственная академия строительства и архитектуры», Одесса*. В. Р. Млодецкий, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Н. И. Нетеса, д-р техн. наук, *Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепро*. Т. Д. Никифорова, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. В. Д. Петренко, д-р техн. наук, *Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепро*. С. З. Полищук, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Н. В. Савицкий, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. В. Л. Седин, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. С. А. Слободянюк, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Г. Д. Сухомлин, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Л. А. Хмара, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. С. В. Шатов, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Н. В. Шпирько, д-р техн. наук, *ГВУЗ ПГАСА, Днепро*. Эдит Барна, к-т техн. наук, *Будапештский технико-экономический университет, Будапешт (Венгрия)*. Анна Бач, д-р арх-ры, *Вроцлавский университет, Вроцлав (Польша)*. Александрс Корякинс, д-р техн. наук, *Рижский технический университет, Рига (Латвия)*. В. И. Куксенко, к-т техн. наук, *Управление атомной энергии Великобритании, Оксфорд (Великобритания)*.

Научно-практический журнал входит	в перечень № 1 научных профессиональных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на получение ученых степеней доктора и кандидата технических наук и архитектуры в соответствии с приказом Министерства образования и науки Украины от 07.10.2015 № 1021
Свидетельство о Госрегистрации	печатного средства массовой информации – серия КВ № 22724-12624ПР – выдано Министерством юстиции Украины 4 мая 2017 г.
Основатель и издатель	Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Выходит 6 раз в год
Рекомендовано к печати	ученым советом академии, протокол № 13 от 04.07.2019 г.
Сайт издания	http:// visnyk.pgasa.dp.ua
Научометрические базы и электронные библиотеки, в которых зарегистрирован научно-практический журнал	<i>Информационно-аналитические системы:</i> РИНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Электронные библиотеки и поисковые системы:</i> Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского

Художественный и технический редактор С. Д. Моисеенко
Переводчик П. М. Стехна
Редактор и корректор В. Д. Маловик

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

**STATE HIGHER EDUCATION INSTITUTION
«PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE»**

BULLETIN

**OF PRYDNIPROVSKA
STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

Established in May, 1997

№ 3 (253-254)

May – June 2019

Dnipro 2019

EDITORIAL STAFF:

<i>Chief Editor</i>	V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, <i>SHEI PSACEA, Dnipro</i>
<i>Deputy Chief Editor</i>	V. V. Danishevskiy, Doctor of Engineering Science, <i>SHEI PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Secretary</i>	O. A. Tymoshenko, Candidate of Engineering Science, <i>SHEI PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Editor</i>	O. A. Tymoshenko, Candidate of Engineering Science, <i>SHEI PSACEA, Dnipro</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF:

A. S. Bielikov, Doctor of Engineering Science, *State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture" (SHEI PSACEA), Dnipro.*
A. I. Bilokon, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* V. S. Vakhrusheva, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* D. F. Honcharenko, Doctor of Engineering Science, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv.* S. I. Hubenko, Doctor of Engineering Science, *National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro.* V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* Ye. A. Yehorov, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* Ye. I. Zaiats, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* Yu. O. Kirichek, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* V. L. Krasovskiy, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* V. Z. Kutsova, Doctor of Engineering Science, *National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro.* D. V. Laukhin, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* A. V. Mishutin, Doctor of Engineering Science, *Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa.* V. R. Mlodetskiy, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* M. I. Netesa, Doctor of Engineering Science, *Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro.* T. D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* V. D. Petrenko, Doctor of Engineering Science, *Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro.* S. Z. Polishchuk, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* M. V. Savytskyi, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* S. O. Slobodianiuk, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* H. D. Sukhomlyn, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* L. A. Khmara, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* S. V. Shatov, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* M. V. Shpyrko, Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro.* Edit Barna, PhD, *Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary.* Anna Bać, Doctor of Architecture, *Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland.* Aleksandrs Korjakins, Doctor of Engineering Science, *Riga Technical University, Riga, Latvia.* V. I. Kuksenko, PhD, Candidate of Engineering Science, *UK Atomic Energy Authority, Oxford, UK.*

Scientific-Practical Journal is included in	List No. 1 of scientific professional publications of Ukraine, where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture can be published according to the Resolution of the Ministry of Science and Education of Ukraine No.1021 dated 07.10.2015
Certificate of State Registration	of the Print Media – Series KV No. 22724-12624PR – issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated May 04, 2017
Founder & Publisher	State Higher Education Institution «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» Issued 6 times a year
Recommended for publication by	Academic Board of the Academy, No. 13 from 04.07.2019
Journal website	http:// visnyk.pgasa.dp.ua
Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and e-libraries	Information and analytical systems: RSCI (Russian Science Citation Index), InfoBase Index (IBI Factor = 3.96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries and search engines:</i> Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Vernadsky National Library of Ukraine
	Art & Technical Editor S. D. Moiseienko Translator P. M. Stekhna Editor & Proofreader V. D. Malovyk

Буцька О. Л., Зезюков Д. М., Махінько М. М., Зінкевич О. Г. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДУ ПУСТОТОУТВОРЮВАЧА В МОНОЛІТНОМУ ПЛОСКОМУ ПЕРЕКРИТТІ.....	10
Дубров Ю. І., Волчук В. М. МОЖЛИВІ РИЗИКИ ЗНИЖЕННЯ ВИМОГ ДО РІВНЯ НАУКОВИХ ПРАЦЬ	19
Думанж М., Булбар А., Лімам К., Бенабед А. ВИКИДИ ДРІБНИХ ЧАСТИНОК В ДРУКАРСЬКІЙ ГАЛУЗІ.....	24
Качур В. І. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТВЕРДОСТІ СТАЛІ Р6М5	29
Ковтун-Горбачова Т. А., Галич Є. Г., Бичкова Т. П. ПЕРЕВІРКА Й АНАЛІЗ КОШТОРИСНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА ВСІХ ЕТАПАХ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ.....	36
Кірічек Ю.О., Комісаров Г.В. КОНСТРУКЦІЇ З ГРУНТОЦЕМЕНТУ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД.....	42
Кірічек Ю. О., Коник В. С. ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСНОВ ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ	51
Колохов В. В., Колохов О. В. ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ У БЕТОНІ.....	58
Кондратьєва Н. В., Мороз Л. В., Мороз В. Ю. ВПЛИВ ДИСКРЕТНИХ ВОЛОКОН (МІНЕРАЛЬНІ, ПОЛІМЕРНІ) НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ.....	66
Лімам К., Думанж М., Булбар А., Бенабед А. ОЦІНКА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТИНОК У ДИЗЕЛЬНОМУ АВТОМОБІЛІ: ВПЛИВ НА ВОДІЯ І ПАСАЖИРІВ.....	72
Панченко С. П., Яцун Є. В., Зумська Є. О., Головаха М. Л. ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ ВЕКТОРА НАВАНТАЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ БІОДЕГРАДУЮЧОГО ГВИНТА ДЛЯ БЛОКУВАЛЬНОГО ІНТРАМЕДУЛЯРНОГО ОСТЕОСИНТЕЗУ.....	77
Парусов Е. В., Луценко В. А., Парусов О. В., Чуйко І. М., Голубенко Т. М., Сівак Г. І. ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПІСЛЯДЕФОРМАЦІЙНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ НА ФОРМУВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ДІЙСНОГО ЗЕРНА.....	87
Чуприна В. Л., Котов Н. А., Зезюков Д. М., Махінько М. М. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗШИРЕННЯ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНИХ ТЕПЛОАГРІВАЧІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ І ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ.....	98
Яровий С. М., Слободянюк С. О. РЕАБІЛІТАЦІЯ ТА КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ПАЛАЦОВО-ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСУ «САДИБА» В СМТ ШАРІВКА ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	103

Буцкая Е.Л., Зезюков Д. М., Махинько Н. Н., Зинкевич О. Г. ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДА ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЯ В МОНОЛИТНОМ ПЛОСКОМ ПЕРЕКРЫТИИ.....	10
Дубров Ю. И., Волчук В. Н. ВОЗМОЖНЫЕ РИСКИ СНИЖЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К УРОВНЮ НАУЧНЫХ ТРУДОВ.....	19
Думанж М., Булбар А., Лимам К., Бенабед А. ВЫБРОСЫ МЕЛКИХ ЧАСТИЦ В ПЕЧАТНОЙ ОТРАСЛИ.....	24
Качур В. И. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ СТАЛИ Р6М5	29
Ковтун-Горбачова Т. А., Галич Е. Г., Бычкова Т. П. ПРОВЕРКА И АНАЛИЗ СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЦЕССА	36
Киричек Ю. А., Комиссаров Г. В. ГРУНТОЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	42
Киричек Ю. А., Коник В. С. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ.....	51
Колохов В. В., Колохов А. В. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В БЕТОНЕ.....	58
Кондратьева Н. В., Мороз Л. В., Мороз В. Ю. ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ВОЛОКОН (МИНЕРАЛЬНЫХ, ПОЛИМЕРНЫХ) НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ.....	66
Лимам К., Думанж М., Булбар А., Бенабед А. ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ В ДИЗЕЛЬНОМ АВТОМОБИЛЕ: ВЛИЯНИЕ НА ВОДИТЕЛЯ И ПАССАЖИРОВ.....	72
Панченко С. П., Яцун Е. В., Зумская Е.А., Головаха М. Л. ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ВЕКТОРА НАГРУЗКИ НА ПРОЧНОСТЬ БИОДЕГРАДИРУЮЩЕГО ВИНТА ДЛЯ БЛОКИРУЮЩЕГО ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА.....	77
Парусов Э. В., Луценко В. А., Парусов О. В., Чуйко И. Н., Голубенко Т. Н., Сивак А. И. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСЛЕДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗЕРНА	87
Чуприна В. Л., Котов Н. А., Зезюков Д. М., Махинько М. М. ОБОСНОВАНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ ТЕПЛОАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ	98
Яровой С. Н., Слободянюк С. А. РЕАБИЛИТАЦИЯ И КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ДВОРЦОВО-ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСА «УСАДЬБА» В ПГТ ШАРОВКА ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ	103

INSIDE

Butska O.L., Zeziukov D.M., Makhinko M.M., Zinkevich O.H SUBSTANTIATION OF OPTIMAL TYPE OF A BLOCKOUT IN A MONOLITHIC FLAT SLAB.....	10
Dubrov Yu.I., Volchuk V.M. POSSIBLE RISKS TO REDUCE REQUIREMENTS TO SCIENTIFIC WORK LEVEL.....	19
Doumougue M., Boulbair A., Limam K., Benabed A. PARTICLE EMISSION IN PAPER PRINTING FACILITY IN LA ROCHELLE	24
Kachur V.I. MATHEMATICAL MODEL FOR HARDNESS TEST FOR STEEL R6M5.....	29
Kovtun-Horbachova T.A., Halych Ye.H., Bychkova T.P. VERIFICATION AND ANALYSIS OF BUDGET DOCUMENTATION AT ALL STAGES OF THE INVESTMENT PROCESS.....	36
Kirichek Yu.O., Komissarov H.V. SOIL-CEMENT STRUCTURES AT THE ERECTION OF FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES.....	42
Kirichek Yu.O., Konyk V.S. CHANGE OF PROPERTIES OF THE BASES ON LONG-TERM LOADING.....	51
Kolokhov V.V., Kolokhov O.V. SOME ASPECTS OF MEASURING THE TIME OF PROPAGATION OF ULTRASONIC VIBRATIONS IN CONCRETE.....	58
Kondratieva N.V., Moroz L.V., Moroz V.Yu. EFFECT OF DISCRETE FIBERS (MINERAL, POLYMERIC) ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS BASED ON MINERAL BINDERS.....	66
Limam K., Doumougue M., Boulbair A., Benabed A. EVALUATION OF PARTICLE CONCENTRATION IN A DIESEL CAR : EXPOSURE OF DRIVER AND PASSENGERS.....	72
Panchenko S.P., Yatsun Ye.V., Zemska Ye.O., Holovakha M.L. INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCLINATION OF THE LOAD VECTOR ON THE STRENGTH OF THE BIODEGRADABLE SCREW FOR BLOCKING INTRAMEDULLARY OSTEOSYNTHESIS.....	77
Parusov E.V., Lutsenko V.A., Parusov O.V., Chuiko I.M., Holubenko T.M., Sivak H.I. PECULIARITIES OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE POST-DEFORMATION HEAT TREATMENT AND CHEMICAL COMPOSITION OF STEEL ON THE FORMATION OF ACTUAL SIZE OF GRAIN.....	87
Chupryna V.L., Kotov M.A., Zeziukov D.M., Makhinko M.M. SUBSTANTIATION OF REASONABILITY OF THE EXTENSION OF THE SCOPE OF APPLICATION OF THE INDUCTIVE HEATERS FOR HEATING THE RESIDENTIAL AND CIVIL BUILDINGS.....	98
Yarovyj S.M., Slobodianiuk S.O. REHABILITATION AND CONCEPT OF THE DEVELOPMENT OF PALACE AND GARDEN COMPLEX "SADYBA" IN SETTLEMENT SHARIVKA, KHARKIV REGION.....	103

УДК 621.643.23:624.012.45.001.13

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.10.457

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДУ ПУСТОТОУТВОРЮВАЧА В МОНОЛІТНОМУ ПЛОСКОМУ ПЕРЕКРИТТІ

БУЦЬКА О. Л.^{1*}, к. т. н., доц.,

ЗЕЗЮКОВ Д. М.², к. т. н., доц.,

МАХІНЬКО М. М.³, к. т. н., доц.,

ЗІНКЕВИЧ О. Г.⁴, к. т. н., доц.

^{1*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: helenochka@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-4377-3746

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: denis.zezjukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

³ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia2785@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

⁴ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: oksana.zinkevych.dnipro@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3425-8216

Анотація. Постановка проблеми. Проблема раціонального та ефективного використання матеріальних ресурсів завжди була пріоритетною, тому що раціональне використання матеріалів і зниження матеріалоемності виробництва сприяє економії загальних капітальних витрат. Сьогодні потреби України в сировині дуже великі, а вартість її виробництва постійно зростає. Таким чином, для зменшення капітальних вкладень необхідно більш раціонально використовувати ресурси, в тому числі за рахунок зниження матеріалоемності продукції, застосування більш дешевих і ефективних матеріалів, економного використання сировини та впровадження нових технологій виробництва будівельних матеріалів. Крім того, одним із важливих факторів економії будівельних матеріалів є використання відходів виробництва як сировини. **Мета статті** – обґрунтування оптимального виду пустотоутворювача в монолітному плоскому перекритті. **Висновок.** У результаті досліджень встановлено, що як матеріал для виготовлення пустотоутворювачів для влаштування пустот у монолітних плоских перекриттях раціонально використовувати пінополістирол і картонні труби (відходи хімічної та целюлозно-паперової промисловості).

Ключові слова: монолітне будівництво; монолітне перекриття; плоске перекриття; пустотоутворювач; перекриття з пустотами; перекриття з пустотоутворювачами

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДА ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЯ В МОНОЛИТНОМ ПЛОСКОМ ПЕРЕКРЫТИИ

БУЦКАЯ Е.Л.^{1*}, к. т. н., доц.,

ЗЕЗЮКОВ Д. М.², к. т. н., доц.,

МАХИНСЬКО Н. Н.³, к. т. н., доц.,

ЗИНКЕВИЧ О. Г.⁴, к. т. н., доц.

^{1*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: helenochka@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-4377-3746

² Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: denis.zezjukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia2785@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

⁴ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: oksana.zinkevych.dnipro@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3425-8216

Аннотация. Постановка проблемы. Проблема рационального и эффективного использования материальных ресурсов всегда была приоритетной, так как рациональное использование материалов и снижение материалоемкости производства способствует экономии общих капитальных затрат. Сегодня потребности Украины в сырье очень большие, а стоимость его производства постоянно растет. Таким образом, для снижения капитальных вложений необходимо более рационально использовать ресурсы, в том числе за счет снижения

материалоемкости продукции, применения более дешевых и эффективных материалов, экономного использования сырья и внедрения новых технологий производства строительных материалов. Кроме того, одним из важных факторов экономии строительных материалов является использование отходов производства в качестве сырья.

Цель статьи – обоснование оптимального вида пустотообразователя в монолитном плоском перекрытии. **Вывод.** В результате исследований установлено, что в качестве материала для изготовления пустотообразователей для устройства пустот в монолитных плоских перекрытиях рационально использовать пенополистирол и картонные трубы (отходы химической и целлюлозно-бумажной промышленности).

Ключевые слова: монолитное строительство; монолитное перекрытие; плоское перекрытие; пустотообразователь; перекрытие с пустотами; перекрытие с пустотообразователями

SUBSTANTIATION OF OPTIMAL TYPE OF A BLOCKOUT IN A MONOLITHIC FLAT SLAB

BUTSKA O.L.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass., Prof.*,
ZEZIUKOV D.M.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
MAKHINKO M.M.³, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
ZINKEVYCH O.H.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

^{1*} Department of reinforced concrete and masonry structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: helenochka@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-4377-3746

² Department of reinforced concrete and masonry structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: denis.zezjukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

³ Department of reinforced concrete and masonry structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia2785@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

⁴ Department of reinforced concrete and masonry structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: oksana.zinkevych.dnipro@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3425-8216

Abstract. Problem statement. The problem of rational and efficient use of material resources has always been a priority, since the rational use of materials and the reduction of material consumption of production lead to savings in total capital costs. Today, the needs of Ukraine in raw materials are very large, and the cost of its production is constantly growing. Thus, in order to reduce capital investments, it is necessary to use resources more rationally, including at the expense of reducing material consumption of products, using cheaper and more efficient materials, economical use of raw materials and introducing new technologies for the production of building materials. In addition, one of the important factors of saving construction materials is the use of waste products as raw materials. The research concerning the reduction of the volume of concrete monolithic slabs by arranging pinholes and choosing the most efficient material for their manufacture is very relevant. **The purpose of the article** is to substantiate the optimal type of a blockout in a monolithic flat slab. **Conclusion.** As a result of the research performed, it was established that it is rational to use expanded polystyrene and cardboard tubes (waste of chemical and pulp and paper industry) as a material for the manufacture of blockouts for arranging pinholes in monolithic flat slabs. In this case, the most rational section of pinhole-formers is the round shape of the section, despite the fact that with a gradual decrease in the thickness of the concrete, such an intersection is inferior to a square section. Based on the analysis of the operation of pinholes from various materials in the process of laying the concrete mix, a step is determined and the reinforcement consumption fixes the blockout of frames.

Keywords: *monolithic construction; monolithic slab; flat slab; blockouts; slabs with pinholes; slabs with blockouts*

Постановка проблеми. Створення нових конструкцій підвищеної тріщиностійкості та економічної ефективності передбачає спільне рішення розрахунково-конструктивних і технологічних питань, що враховують одночасно підбір ефективних бетонів конкретно для розроблених конструкцій. У будівництві багатопверхових житлових будинків у минулі роки склалися свої стереотипи – це переважне використання збірного залізобетону і, дуже рідко, –

монолітне будівництво. Сьогодні очевидно, що наразі гарною альтернативою постає «моноліт», принаймні, з точки зору вартості.

Плоскі монолітні перекрыття наразі – одне з перспективних рішень, як у новому будівництві, так і в реконструкції. Такі перекрыття доцільно застосовувати у будівництві практично всіх типів будівель і споруд. Вони мають найменшу конструктивну висоту, рівну і гладку стелю, дають можливість вільно розташувати

внутрішнє обладнання. Інженерні мережі, що не зустрічають перешкод, підвішуються до плити. У разі необхідності влаштовують підшивання стелі.

Що стосується матеріалу перекриттів, монолітний залізобетон у низці випадків перевершує збірний. Для нових підрядних організацій, які не мають розвиненої і громіздкої виробничої бази, застосування технології монолітного будівництва краще з багатьох міркувань. Виробнича база в цьому випадку зводиться до мінімуму: необхідний товарний бетон, опалубка та арматура, причому арматурний цех створювати не обов'язково – у багатьох випадках арматуру в'яжуть прямо на будівельному майданчику.

Відпадає необхідність жорстко дотримуватися номенклатури виробів зі збірного залізобетону, що випускаються заводом. Тому в архітектора з'являються практично необмежені можливості для нормотворчості. У монолітному залізобетоні найбільш повно можуть бути використані досягнення в галузі бетонування, нових композиційних матеріалів, прогресивних енергозберігальних технологій за порівняно невисоких витрат на механізацію та автоматизацію технологічних процесів.

Виконання будівель і споруд у монолітному залізобетоні дозволяє оптимізувати їх конструктивні рішення; перейти від розрізних схем, що вимагають значних матеріальних і трудових витрат на пристрій рівномірних стиків, до нерозрізних просторових систем, врахувати спільну роботу елементів і тим самим знизити їх перетин; забезпечити високу надійність у роботі.

Матеріаломісткість продукції – це один з узагальнених показників ступеня використання сировини, матеріалів, палива, енергії та інших предметів праці. Звідси основне завдання в галузі будівництва – зниження матеріаломісткості продукції. Для зменшення маси і матеріаломісткості монолітної залізобетонної плити в її тілі запропоновано укладати пустотоутворювач різних форм.

Дослідники в галузі будівництва як пустотоутворювачі пропонують використовувати різні матеріали з різною формою:

керамічні, азбестоцементні, поліетиленові труби круглого або овального поперечного перерізу або труби з інших матеріалів [1; 2]. Пустотоутворювачами також можуть служити відходи целюлозно-паперової промисловості – це картонні труби для намотування паперу. Однак вибір найбільш підходящого матеріалу для пустотоутворювачів повинен відповідати умовам виготовлення перекриття: матеріал повинен сприймати монтажні навантаження під час арматурних робіт; сприймати гідростатичні навантаження під час бетонування; зберігати первинну геометричну форму і положення в процесі укладання бетонної суміші. Також вибір оптимального пустотоутворювача повинен базуватися на техніко-економічній ефективності його використання.

Мета дослідження – розроблення технології виготовлення монолітних плоских плит перекриттів із пустотоутворювачами на стадії зведення.

Для досягнення поставленої мети виконували такі завдання:

- 1) вивчення та аналіз існуючих конструктивних рішень і технологій зведення плоских монолітних перекриттів;
- 2) вибір найбільш раціональної форми та матеріалу пустотоутворювача;
- 3) аналіз умов роботи пустотоутворювачів із різних будівельних матеріалів у тілі монолітної плити перекриття;
- 4) визначення економічної ефективності використання пустотоутворювачів у монолітних перекриттях.

Результати досліджень. Для дослідження прийнято монолітні перекриття товщиною 150 мм, 200 мм і 250 мм, з різними формами пустотоутворювача. Найбільш раціональну форму вибирали з урахуванням витрат матеріалу на неї за наведеною товщиною бетону для пустотоутворювачів різних форм, за різної проектною товщини плити перекриття.

Конструктивні схеми плит перекриттів наведені на рисунку 1. При цьому для розглянутих схем приймалися однакові відстані між пустотоутворювачами і

поверхнями плити виходячи з мінімальних конструктивних вимог.

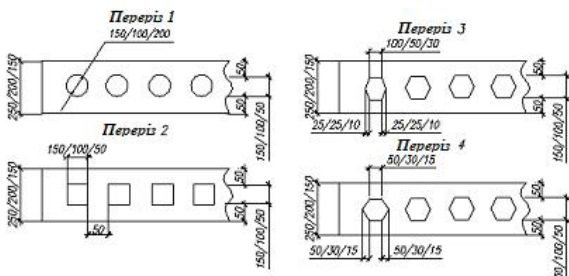


Рис. 1. Конструктивні схеми плит перекриттів з різними формами перерізу пустот : переріз 1 – коло, переріз 2 – квадрат, переріз 3 – неправильний шестикутник, переріз 4 – правильний шестикутник / Fig. 1. Structural charts of flags of ceiling with the different forms of section of emptiness : type 1 – a circle, type 2 – a square, type 3 – hexagon, type 4 – correct hexagon

На підставі здобутих результатів отримано діаграму (рис. 2) для аналізу і вибору найбільш раціонального перерізу пустотоутворювача. В результаті найбільш раціональним виявився пустотоутворювач квадратної форми, у якого за різних товщин плити значення наведеної товщини бетону залишається найменшим.

Однак під час зведення монолітних перекриттів із використанням такої форми перерізу пустотоутворювача можуть виникати технологічні проблеми в процесі укладання бетонної суміші в розтягнуту зону плити. Це, своєю чергою, спричинить збільшення додаткових витрат на влаштування монолітних перекриттів. Таким чином, як пустотоутворювачі раціонально використовувати лінійні елементи круглого перетину виходячи з технологічних міркувань.

Вибравши найбільш раціональну форму пустотоутворювачів і запроєктувавши плоску монолітну пустотну плиту перекриття, отримуємо передумови до подальшого вирішення проблем, які можуть виникнути в процесі зведення монолітних плит перекриттів із пустотами, а саме закріплення пустотоутворювачів у тілі плити фіксувальними арматурними елементами.

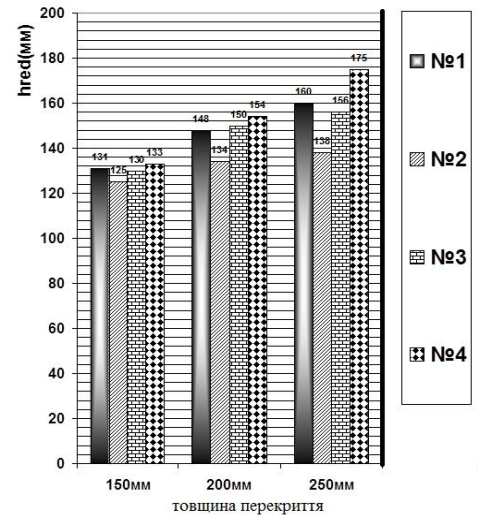


Рис. 2. Наведена товщина бетону для пустотоутворювачів різних форм, за різної проекційної товщини плити перекриття : № 1 – коло, № 2 – квадрат, № 3 – неправильний шестикутник, № 4 – правильний шестикутник / Fig. 2. The brought thickness over of concrete for creator emptiness of different forms, at the different project thickness of ceiling : № 1 – a circle, № 2 – a square, № 3 – a hexagon, № 4 – a correct hexagon

У процесі укладання бетонної суміші пустотоутворювач повинен зберігати свою первісну геометричну форму і положення. Тому його необхідно закріплювати по довжині фіксувальними арматурними елементами, щоб запобігти спливання (рис. 3).

Фіксувальні арматурні кріплення необхідно встановлювати з певним кроком, отриманим у ході розрахунків. Крок залежить від міцності та прогину елемента. Розрахунки виконані для різних матеріалів (картон, оцинкована сталь, пінопласт).

Результати розрахунків на гідростатичні навантаження за різних форм перерізу пустотоутворювачів для плит товщиною 150 мм, 200 мм і 250 мм наведені в таблиці 1.

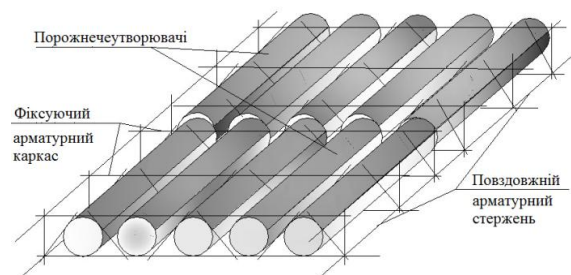


Рис. 3. Схема закріплення пустотоутворювачів фіксувальними арматурними каркасами / Fig. 3. Chart of fixing of creator emptiness by fixative armature frameworks

Таблиця 1

Рекомендований крок, з яким встановлюються фіксувальні кріплення пустотоутворювачів [за міцністю / за прогином], м / Recommended step with that the fixative fastening of creator emptiness is set [on durability / for bending], m

Матеріал пустотоутворювача		Товщина монолітної плити перекриття, мм		
		150	200	250
Полістирольний пінопласт	Переріз-коло	3,99/ 0,8	4,96/ 1,0	6,08/ 1,2
	Переріз-квадрат	4,05/ 0,8	5,73/ 1,2	7,02/ 1,5
картон		10,51/ 0,8	11,76/ 1,0	12,04/ 1,2
оцинкована сталь		48,91/ 5,0	54,72/ 6,0	55,82/ 6,0

Для того, щоб простежити реальну економію бетону, а, отже, зниження власної ваги конструкцій і зниження зусиль на фундаменти в монолітному каркасному будинку з пустотними плитами перекриття і суцільними монолітними плитами, виконано розрахунок будівлі в програмному комплексі «Ліра» із застосуванням методу скінченних елементів.

Вихідні дані для розрахунку в ПК «Ліра». До розрахунку прийнято 14-поверхову каркасну будівлю розміром у плані 44×144 м. Крок колон у поздовжньому напрямку 18 шт. \times 8м. Крок колон у поперечному напрямку 6.8; 6.6; 6.0×2 ; 6.6; 6.0.

Переріз колон на позначці 0,000 м та вище – 400×400 мм, переріз колон цокольного поверху 500×500 мм. Бетон важкий, клас – С30/25.

Перекриття і покриття: монолітне безбалкове перекриття (покриття) з пустотоутворювачами. Плити обперті по контуру, товщина плит 250 мм.

Плита перекриття (покриття) включає армовані умовні ригелі двотаврового перетину. Звіси полиць, що враховуються в розрахунках, прийняті 1/6 прольоту плити в світлі і складають:

– у розрахунковій схемі поперечних рам – 1,15 м;

– у розрахунковій схемі поздовжніх рам – 0,8 м.

Ширина полиць умовного ригеля становить:

– на позначці 0,000 м в поперечному напрямку – 3,3 м;

– на позначці 0,000 в поздовжньому напрямку – 2,6 м;

– на позначці 4,350 м і вище в поперечному напрямку – 3,2 м;

– на позначці 4,350 м і вище поверхів у поздовжньому напрямку – 2,5 м.

Ширина ребра умовного ригеля приймається рівною ширині більшого за підставу піраміди продавлювання (висота (ширина) перетину колони плюс 250 мм з кожного боку ребра) і становить:

– на позначці 0,000 м: $b = 1,0$ м;

– на позначці 4,350 м: $b = 0,9$ м.

Висота умовного ригеля 250 мм.

Висота полиць 75 мм.

Бетон плит перекриття (покриття) важкий, клас бетону С30/25.

Модуль пружності бетону $E_s = 32,5 \cdot 10^3$ МПа.

Нормативне значення ваги плити при діаметрі пустотоутворювача:

– $\varnothing 150$ мм – 350 кг/м^2 ;

– $\varnothing 100$ мм – 420 кг/м^2 .

Визначено максимальні зусилля в елементах будівлі для перекриття з пустотами наведені в таблиці 2, для суцільного монолітного – в таблиці 3.

Як видно з таблиць 2 і 3, із застосуванням пустотних плит перекриттів у будинку знижується загальна маса перекриття і, отже, навантаження на каркас і фундаменти будівлі, що може значно зменшити витрати матеріалів у цілому на будівлю.

Для оцінювання економічної ефективності необхідно знати:

- скільки економиться бетону в монолітній плиті з пустотами відносно суцільної плити такої ж проектною товщини;

- витрату матеріалів на пустотоутворювач з урахуванням витрат арматури на закріплення пустотоутворювачів фіксувальними арматурними елементами.

Таблиця 2

**Зусилля по осях у будівлі з пустотними монолітними перекриттями /
Effort on axes in building with the emptiness monolithic ceiling**

Зусилля						
Вісь	$M_y, кН*м$	$Q_y, кН$	$M_x, кН*м$	$Q_x, кН$	$N, кН$	Примітки
Середня рама (14 поверхів)						
Вісь "А"	537.229	-896.068	50.379	-18.875	-6 386.156	Nmax
	650.941	-936.105	109.352	-51.035	-5 540.948	Mmax x,y
Вісь "Б"	23.078	-12.5	92.908	-36.477	-8 425.273	Nmax
	84.497	-36.619	166.281	-73.479	-7 730.948	Mmax x,y
Вісь "В"	-3.908	4.81	92.908	-36.477	-8 461.495	Nmax
	68.686	-27.169	166.281	-73.479	-7 642.468	Mmax x,y
Вісь "Г"	14.268	-9.136	92.908	-36.477	-8 438.471	Nmax
	75.703	-33.282	166.281	-73.479	-7 746.124	Mmax x,y
Вісь "Д"	-2.223	0.969	92.908	-36.477	-8 209.414	Nmax
	66.824	-28.521	166.281	-73.479	-7 412.543	Mmax x,y
Вісь "Е"	-19.443	11.569	92.908	-36.477	-8 435.769	Nmax
	-88.032	40.536	166.281	-73.479	-7 627.269	Mmax x,y
Вісь "Ж"	6.937	-8.065	92.908	-36.477	-8 263.883	Nmax
	75.637	-37.282	166.281	-73.479	-7 463.773	Mmax x,y
Вісь "И"	-552.917	907.176	50.379	-18.875	-6 070.484	Nmax
	-663.175	944.584	109.352	-51.035	-5 261.642	Mmax x,y

Таблиця 3

**Зусилля по осях у будівлі з суцільним монолітним перекриттям/
Effort on axes in building with the continuous monolithic ceiling**

Зусилля						
Вісь	$M_y, кН*м$	$Q_y, кН$	$M_x, кН*м$	$Q_x, кН$	$N, кН$	Примітки
Середня рама						
Вісь "А"	537.229	-896.068	50.379	-18.875	-7331.516	Nmax
	650.941	-936.105	109.352	-51.035	-6486.308	Mmax x,y
Вісь "Б"	23.078	-12.5	92.908	-36.477	-10315.993	Nmax
	84.497	-36.619	166.281	-73.479	-9621.668	Mmax x,y
Вісь "В"	-3.908	4.81	92.908	-36.477	-10352.215	Nmax
	68.686	-27.169	166.281	-73.479	-9533.188	Mmax x,y
Вісь "Г"	14.268	-9.136	92.908	-36.477	-10329.191	Nmax
	75.703	-33.282	166.281	-73.479	-9636.844	Mmax x,y
Вісь "Д"	-2.223	0.969	92.908	-36.477	-10100.134	Nmax
	66.824	-28.521	166.281	-73.479	-9303.263	Mmax x,y
Вісь "Е"	-19.443	11.569	92.908	-36.477	-10326.489	Nmax
	-88.032	40.536	166.281	-73.479	-9517.989	Mmax x,y
Вісь "Ж"	6.937	-8.065	92.908	-36.477	-10154.603	Nmax
	75.637	-37.282	166.281	-73.479	-9354.493	Mmax x,y
Вісь "И"	-552.917	907.176	50.379	-18.875	-7015.844	Nmax
	-663.175	944.584	109.352	-51.035	-6207.002	Mmax x,y

У таблицях 4–6 наведено загальні вартості використання того чи матеріалу пустотоутворювача в плоских пустотних монолітних плитах перекриття з різною проектною товщиною плити, а також іншого матеріалу в плоских

вартість зекономленого бетону у разі їх використання.

Розрахунок окремої будівлі показав, що використання пустотоутворювача в монолітних плитах перекриттів справді в результаті зниження маси перекриттів, зменшує зусилля на каркас і фундаменти будівлі практично не зменшуючи надійності будівлі.

Перевитрата коштів за рахунок застосування пустотоутворювачів компенсується скороченням витрат матеріалів.

Як порожнече утворювачі раціонально використовувати:

За товщини плити перекриття 150 мм, 200 мм, 250 мм раціонально використовувати пустотоутворювач із поздовжнім перерізом квадратної форми з полістирольного пінопласту.

Таблиця 4

Матеріал – сталь оцинкована / Material is a steel zincked

Товщина плити	Об'єм економії бетону	Вартість економії бетонної суміші	Вартість матеріалу на пустотоутворювачі	Витрата арматури	Вартість арматури	Загальна вартість матеріалів виробу
мм	m^3 / m^2	грн/ m^2	грн/ m^2	кг/ m^2	грн/ m^2	грн/ m^2
150	0,157	164,85	1 088,56	1,05	7,77	1 096,33
200	0,416	436,8	1 442,37	1,065	7,89	1 450,26
250	0,706	741,3	1 632,87	1,048	7,77	1 640,64

Таблиця 5

Матеріал – пенопласт полістирольний (коло / квадрат) / Material is a polystyrene foam (a circle / a square)

Товщина плити	Об'єм економії бетону	Вартість економії бетонної суміші	Вартість матеріалу на пустотоутворювачі	Витрата арматури	Вартість арматури	Загальна вартість матеріалів виробу
мм	m^3 / m^2	грн/ m^2	грн/ m^2	кг/ m^2	грн/ m^2	грн/ m^2
150	0,157	164,65	33,0	5,24	38,82	71,82
	0,2	210,0	42,0	5,24	38,82	71,82
200	0,416	436,8	87,66	4,26	31,56	119,22
	0,53	556,5	111,3	3,66	27,12	138,42
250	0,706	741,3	148,38	3,66	27,12	175,5
	0,9	945,0	189,0	3,13	23,19	212,19

Таблиця 6

Матеріал – картон / Material is a cardboard

Товщина плити	Об'єм економії бетону	Вартість економії бетонної суміші	Вартість матеріалу на пустотоутворювачі	Витрата арматури	Вартість арматури	Загальна вартість матеріалів виробу
мм	m^3 / m^2	грн/ m^2	грн/ m^2	кг/ m^2	грн/ m^2	грн/ m^2
150	0,57	54,95	13,9	5,24	12,94	26,84
200	0,416	145,6	16,62	4,26	10,52	27,14
250	0,706	247,1	20,8	3,66	9,04	29,84

Техніко-економічне оцінювання також показало, що використання як матеріал пустотоутворювача сталі оцинкованої економічно не вигідне, незважаючи на те, що витрати на закріплення таких порожнеч найменші.

Висновки. У ході дослідження розроблено конструкцію монолітного пустотного перекриття з пустотоутворювачем раціональної форми з урахуванням витрати матеріалу на цю форму, яка забезпечила за високих конструктивних показників задовільну якість і високу технологічність.

Найбільш раціональним і економічно вигідним виявилось використання пустотоутворювачів із квадратною формою поперечного перерізу з полістирольного пінопласту в плоских пустотних залізобетонних монолітних плитах перекриттів проектної товщини 250 мм. Таке рішення також відповідає важливому чиннику економії будівельних матеріалів, оскільки полістирольний пінопласт – це відходи виробництва хімічної промисловості, яка непогано розвинена в Україні.

Також вирішено проблему із закріпленням пустотоутворювачів у тілі плити у процесі укладання бетонної суміші. Розраховано крок, з яким необхідно встановлювати фіксувальні елементи пустотоутворювачів за різної проектної товщини плити.

Визначено техніко-економічну ефективність використання плоских монолітних плит перекриттів із пустотами на прикладі окремої будівлі з пустотними монолітними перекриттями, які за рахунок зменшення власної ваги конструкцій знизили зусилля на фундаменти, що означає вагоме зниження капітальних витрат на будівництво об'єкта в цілому на 40 %.

Таким чином, у подальшому для успішного використання пустот із полістирольного пінопласту квадратної форми рекомендується розробити технологію подачі бетонної суміші в розтягнуту зону плити перекриття або вдосконалити форму пустотоутворювача для полегшення технологічного процесу укладання бетонної суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Держбуду України. – Вип. 59. – Кн. 1, 2. – Київ : НДІБК, 2003. – 264 с.
2. Яловенко В. И. Цилиндрические пустотообразователи для применения в монолитных железобетонных плитах перекрытий / В. И. Яловенко, И. В. Санников // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Держбуду України. – Вип. 61. – Том. 1. – Київ : НДІБК, 2005. – С. 330–337.
3. Информационные технологии расчёта и проектирования строительных конструкций : монография [А. С. Городецкий, В. С. Шмуклер, А. В. Бондарев]. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
4. ДБН А.3.1-5-96. Организация строительного производства. – Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ, 2011. – 61 с.
5. Степанов И. С. Экономика строительства : учебник для вузов / И. С. Степанов. – Москва : Юрайт, 2002. – 204 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2009. – 97 с.
7. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – Державний стандарт України. – Київ : Держспоживачстандарт України, 2007. – 28 с.
8. ДСТУ Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. – Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2012. – 312 с.

REFERENCES

1. *Naukovo-tekhnichni problemy suchasnoho zalizobetonu : Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk naukovykh prats' (budivnytstvo). Derzhavnyy naukovo-doslidnyy instytut budivel'nykh konstruktсий Derzhbudu Ukrayiny.* [Scientific and technical problems of the modern reinforced concrete : Interdepartmental scientific and technical collection of scientific works (building)]. State scientific and experience institute of building constructions of State building of Ukraine, vol. 59, book. 1, 2. Kyiv : NDIBK, 2003, 264 p. (in Ukrainian).
2. Yalovenko V.I. and Sannikov I.V. *Tsilindricheskiye pustotoobrazovateli dlya primeneniya v monolitnykh zhelezobetonnykh plitakh perekrytiy* [Cylindrical creator emptiness and for application in the monolithic reinforce-

- concrete flags of ceiling]. *Naukovo-tekhnichni problemy suchasnoho zalizobetonu. Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk naukovykh prats' (budivnytstvo)* [Scientific and technical problems of the modern reinforced concrete : Interdepartmental scientific and technical collection of scientific works (building)]. State scientific and experience institute of building constructions of State building of Ukraine, iss. 61, vol. 1, Kyiv : NDIBK, 2005, pp. 330–337. (in Russian).
3. Gorodeckiy A.S., Shmukler V.S. and Bondarev A.V. *Informatsionnyye tekhnologii raschota i proyektirovaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Information technologies of calculation and planning of building constructions]. Kharkiv : STU «KhPI», 2003, 889 p. (in Russian).
 4. *DBN A.3.1-5-96 Orhanyzatsyya stroytel'noho proyzvodstva* [Organization of building production. Ministry of regional development and building of Ukraine]. Ministry of Regional Development and Civil Building, Kyiv, 2011, 61 p. (in Russian).
 5. Stepanov I.S. *Ekonomika stroitel'stva* [Building economy : textbook for institutions of higher learning]. Moscow : Yurajt Publ., 2002, 204 p. (in Russian).
 6. *DBN V.1.2-2:2006 Navantazhennya i vplyvy* [Loading and influences]. Ministry of Civil Building, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine, Kyiv, 2009, 97 p. (in Ukrainian).
 7. *DSTU 3760:2006. Prokat armaturnyy dlya zalizobetonnykh konstruksiy. Zahal'ni tekhnichni umovy: Derzhavnyy standart Ukrayiny*. [Rent an armature for reinforce-concrete constructions. General technical requirements : State Standard of Ukraine]. State Consumption Standard of Ukraine, Kyiv, 2007, 28 p. (in Ukrainian).
 8. *DSTU B EN 1992-1-1:2010. Yevrokod 2: Proektuvannya zalizobetonnykh konstruksiy. Chastyna 1-1. Zahal'ni pravyla i pravyla dlya sporud Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrayiny* [Eurokod 2 : Planning of reinforce-concrete constructions. Part 1-general rules and rules for building]. Ministry of Regional Development and Civil Construction of Ukraine. The State enterprise of "Ukrarhbudinform", Kyiv, 2012, 312 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 18.05.2019 р.

УДК 004.5 + 519.2

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.19.458

МОЖЛИВІ РИЗИКИ ЗНИЖЕННЯ ВИМОГ ДО РІВНЯ НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ДУБРОВ Ю. І.¹, *д. т. н., проф.*,

ВОЛЧУК В. М.^{2*}, *д. т. н., проф.*

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

Анотація. *Вступ.* У 2000 році була опублікована стаття Ю. І. Дуброва в журналі «Вісник НАН України» «Наука як система, що самоорганізується», де показано, яким чином впливають застосовувані в нашій країні «заохочення» вченого на науковий рівень його роботи. Однак нині змінилися деякі вимоги до подання науково-дослідницьких робіт, які можна розглядати як підміну законних вимог на ті вимоги, які, на нашу думку, можна розглядати як провокацію хабара. Аналізу цього питання присвячено нашу статтю. **Основна частина.** У науці є дві форми заохочення: *матеріальна* і *моральна*. Ми можемо стверджувати, що така форма заохочень стимулює розвиток науки в рамках накладених на неї обмежень. Наведена праця базується на використанні аналізу взаємодії частин наукових праць, які висвітлюють вплив заохочень або покарань на рівень наукової роботи. Для цього використовуються мова теорії катастроф, принципи соціології, дисипативних систем, більярдної задачі Лоренца. Розглянуто три можливі стани науки з урахуванням того, що керівним параметром постає шкала заохочень, яка змінюється за рахунок зниження вимог до рівня публікацій. Підтримка бажаного стану науки чутлива до можливих промахів у проведенні стратегії: будь-то зміна вимог до результатів наукової творчості, помилок в організації управління наукою або законодавчих змін її структури, що деформує поверхню відгуку так, що в разі впливу корупції вона перетворюється на площину. Підтвердженням цьому може бути відомий в теорії катастроф принцип крижкості хорошого. Принцип крижкості хорошого зберігається за будь-якого числа параметрів. Останнє, ймовірно, пов'язане з тим, що все хороше, як правило, відповідає кільком вимогам, всьому поганому досить однієї. **Висновки.** Науці належить роль однієї з надчутливих систем, здатних функціонувати в межах принципу крижкості хорошого.

Ключові слова: наука; стратегія; принцип крижкості хорошого; соціологія; дисипативні системи; задача Лоренца

POSSIBLE RISKS TO REDUCE REQUIREMENTS TO SCIENTIFIC WORK LEVEL

DUBROV Yu.I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

VOLCHUK V.M.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹ Department of Materials Science and Material Processing, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

^{2*} Department of Materials Science and Material Processing, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

Abstract. Introduction. In 2000, the article “Science as a Self-organizing System” by Yu.I. Dubrov was published. in the journal “Bulletin of the National Academy of Science of Ukraine”, the article shows how the “encouragement» of the scientist used in our country influences the scientific level of his/her work. However, some requirements for the submission of research papers, which can be considered as a substitute for legal requirements for those ones, which in our opinion, can be considered as a provocation of a bribe, have been changed. This article is devoted to the analysis of this issue. **Main part.** There are two forms of encouragement in science: material and moral. We can argue that such a form of encouragement stimulates the development of science within the limits imposed on it. The presented work is based on the use of the analysis of the interaction of parts of scientific works, which highlight the impact of incentives or punishments on the level of scientific work. For this purpose, we use the language of the theory of disasters, the principles of sociology, dissipative systems, the billiard problem of Lorentz. Three possible states of science are considered, taking into account that the controlling parameter is the scale of incentives, which changes due to lower requirements for the level of publications. Support for the desired state of science is susceptible to possible mistakes in the strategy: any change in the requirements for the results of scientific creativity, mistakes in the

organization of science management or legislative changes in its structure, which deforms the response surface so that in the event of the impact of corruption it becomes a plane. Confirmation of this can be known in the theory of disasters, the principle of fragility of good. The principle of fragility of good is preserved at any number of parameters. The latter, probably, is due to the fact that everything good, as a rule, meets several requirements, everything bad requires one. **Conclusions.** The role of the one of the supersensitive systems that can function within the principle of the fragility of good belongs to science.

Keywords: *science; strategy; the principle of fragility of good; sociology; dissipative systems; Lorentz's problems*

*У трусов малые возможности.
Молчаньем славы не добыть.
И смелыми из осторожности
подчас приходится им быть.
И лезут в соколы ужю,
сменив, с учетом современности,
приспособленчество ко лжи
приспособленчеством ко смелости.*

Є. Євтушенко, 1957 р.

Вступ. В умовах перманентної зміни вимог до існування соціального організму типу науки особливу роль відіграють питання її виживання, котрі кореспондуються із систематичними змінами, які пред'являються до її рівня. При цьому збільшується коло питань, які охоплюють першорядні завдання співіснування й адаптації різних її частин. Слід враховувати, що людство протягом тривалого часу своєї еволюції сформувалося в соціальний організм, однією із функцій якого стало отримання нової наукової інформації. Без цієї функції соціальний організм загине в постійно мінливому середовищі свого існування [1].

Основна частина. Іронія еволюції науково-технічного прогресу в тому, що до теперішнього часу одним з основних критеріїв оцінювання науки є здатність людства, на підставі її розробок, знищувати собі подібних [1; 2].

Чому ж спостерігається така висока кореляція між рівнем цивілізації і прагненням до знищення собі подібних? Одна з гіпотез говорить, що люди почали воювати між собою тому, що вони є продуктом інформаційного розвитку [3]. Йдеться про дисипативні, відкриті системи, які мають кілька стійких стаціонарних станів. До таких належать усі системи, хід подальшого розвитку яких передбачити неможливо. Наприклад, змінюються вимоги

до подання наукових праць, в яких відносно малі і навіть дуже незначні зміни початкових умов викликають суттєві зміни траєкторії їх руху у фазовому просторі.

До таких робіт належать також усі ігри, хід подальшого розвитку яких передбачити неможливо. Оскільки науку з позицій теорії ігор [4] можна розглядати як гру з Природою, ми маємо право віднести її до досліджуваної категорії систем.

Прикладом такої системи може бути більярдна задача Лоренца, яка пізніше отримала назву двовимірного газу Лоренца [5–7]. Для цієї задачі ми маємо справу з глобальною нестабільністю, яка має місце навіть тоді, коли на більярдному столі знаходиться тільки одна куля, за умови, якщо хоча б одна зі стінок більярду опукла.

Дослідження імітаційної моделі [8] цієї задачі наочно показали, що ми маємо справу із системою, фазовий простір якої, за певних умов, переходить у дивний аттрактор [9], який може мати фрактальну структуру [10–15]. Невелика неточність у зміні початкових умов такої системи зумовлює якісну розбіжність між очікуваною і реальною траєкторіями її руху у фазовому просторі, що підтверджується практикою, здавалося б, вимог, які незначно змінюються, до наукових робіт. Причина цього явища – не недоліки моделі, на якій здійснюється прогноз, а природа процесу,

який моделюється (з урахуванням антропоморфності відкритої системи) [16].

Як ми це вже зазначали, до таких систем можна віднести науку. У зв'язку з цим бажано вивчати вплив можливих змін параметрів її навантаження.

Наприклад, поставимо перед собою цілком певну мету: вивчити вплив деяких способів заохочень учених на процеси розвитку науки.

У соціології існує так званий закон ефекту («law of effect») [17], згідно з яким задовільний стан справ і незадовільний стан справ визначаються таким чином: «Задовільний стан справ є таким, за якого деякий організм не прагне уникнути ситуації, частіше щось робить, щоб її досягти і зберегти. Незадовільний стан справ є таким, за якого організм намагається уникнути ситуації».

Таке трактування цього закону дозволяє припустити деяку наявність заохочень, які спонукають суб'єкта до досягнення і збереження станів, що приносять задоволення, та відмовлятися від станів, що приносять покарання. У науці є дві форми заохочення: *матеріальна* і *моральна*. Ми можемо стверджувати, що такі форми заохочень стимулюють розвиток науки в рамках накладених на неї обмежень.

За межами цих обмежень розвиток науки може гальмуватися або зовсім зупиняється. В цьому випадку відбувається зміна розвитку науки (біфуркація), здатна іноді її привести в стан деградації. Така

інтерпретація дозволяє застосувати мову теорії катастроф для опису на якісному рівні стану науки залежно від форми заохочення або покарання вчених.

Наразі з'явилася така форма заохочення вчених як опублікування їхніх праць (недостатнього наукового рівня) в наукометричних журналах. Опублікування праць навіть незадовільного наукового рівня за певну «винагороду» дозволяє враховувати ці роботи для отримання авторами грантів, які дозволяють їм займати високий ступінь в ієрархії вчених. Ми пропонуємо цей факт розглядати як своєрідний хабар особам, які оцінюватимуть науковий рівень роботи [18]. У розглянутому прикладі однією із фазових змінних є науковий рівень робіт.

Для одних і тих же значень керуючих параметрів, у деяких випадках, можливі три стани науки з урахуванням включення параметра «корупція».

Припустимо, що керівний параметр, яким є шкала заохочень, змінюється за рахунок зниження вимог до публікацій. Наприклад, припустимо, що для подання кандидатської дисертації до захисту авторам не обов'язково мати публікації за основними її розділами в центральній пресі, а для захисту докторської дисертації не обов'язково мати монографію, опубліковану в центральній пресі. При цьому можливі три ситуації, що характеризують зміни рівня науки (див. рис.).

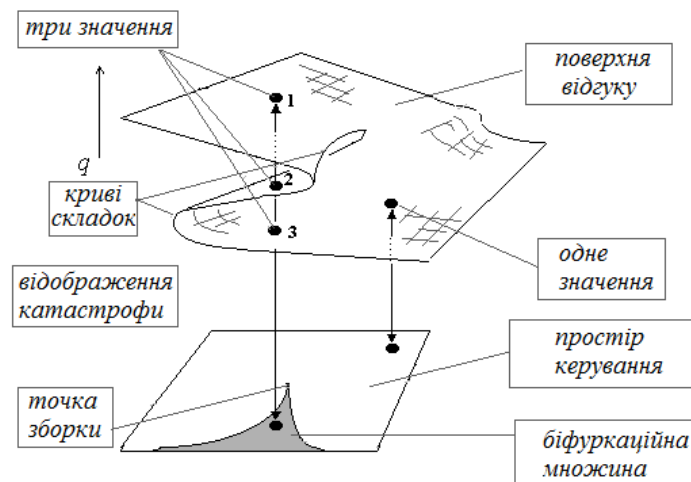


Рис. Можливі стани рівня науки / Fig. Possible states of the level of science

Перша ситуація характерна тим, що за рахунок змін якості і часу опублікування кількість задовільних публікацій, необхідних для захисту дисертацій, які тривалий час не друкувалися, оскільки «чекали» своєї черги, різко збільшиться, що має підвищити рівень науки (точка 1 на поверхні відгуку рисунка).

Другій ситуації властиво те, що за рахунок ослаблення вимог число якісних наукових праць знизиться, а число посередніх зросте, що може спричинити зниження наукового рівня (точка 2 на поверхні відгуку рисунка).

Третя ситуація характеризується різким збільшенням спекулятивних, недобро-якісних наукових праць на ґрунті корупції (точка 3 на рисунку).

Висновки. Таким чином, підтримка бажаного стану науки вкрай чутлива до можливих промахів у проведенні стратегії: будь то зміна вимог до результатів наукової творчості, помилок в організації управління наукою або законодавчих змін її структури, що деформує поверхню відгуку так, що в разі впливу корупції вона перетворюється на площину. Підтвердженням цьому може бути відомий в теорії катастроф принцип крихкості хорошого [19].

Принцип крихкості хорошого зберігається за будь-якого числа параметрів. Останнє, ймовірно, пов'язане з тим, що все хороше, як правило, відповідає кільком вимогам, всьому поганому досить однієї.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дубров Ю. І. Наука як система, що самоорганізується / Ю. І. Дубров // Вісник НАН України. – 2000. – № 2. – С. 16–22.
2. Большаков В. І. Про роль конфліктів в еволюційних процесах / В. І. Большаков, Ю. І. Дубров // Вісник НАН України. – 2016. – № 11. – С. 87–91. – Режим доступу : <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/73434>.
3. Кууси П. Этот человеческий мир : монография / П. Кууси. – Москва : Прогресс, 1988. – 326 с.
4. Оуэн Г. Теория игр : монография / Г. Оуэн. – Москва : Мир, 1971. – 230 с.
5. Lorentz H. A. The motion of electrons in metallic bodies II / H. A. Lorentz // Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. – 1905. – Vol. 7. – Pp. 585–593.
6. Большаков В. И. Фрактальный подход при идентификации сложных систем / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді НАН України. – 2017. – № 6. – С. 46–50. – Режим доступу : <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.06.00>.
7. Большаков В. И. Пути идентификации сложных систем / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2018. – № 3. – С. 10–14. – Режим доступу : <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.250918.10.191>.
8. Большаков В. И. О применении имитационного моделирования в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металознавство та термічна обробка металів. – 2015. – № 4. – С. 26–31. – Режим доступу : <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/26-31>.
9. Gorodetski A. Minimal and strange attractors / A. Gorodetski, Yu. Ilyashenko // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2018. – Vol. 6. – № 6. – Pp. 1177–1183.
10. Основы организации фрактального моделирования : монография / [В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров]. – Киев : Академперіодика, 2017. – 170 с.
11. Fractals and properties of materials : monograph / [V. Bolshakov, V. Volchuk, Yu. Dubrov]. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2016. – 140 p. – Режим доступу : <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/tr/book/978-3-330-01812-9/fractals-and-properties-of-materials?search = Fractals>.
12. Большаков В. И. Организация фрактального моделирования / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді НАН України. – 2018. – № 6. – С. 67–72. – Режим доступу : <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.06.067>.
13. Волчук В. Н. К применению фрактального формализма при ранжировании критериев качества многопараметрических технологий / В. Н. Волчук // Металлофизика и новейшие технологии. – 2017. – Т. 39. – № 3. – С. 949–957. – Режим доступу : <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/130334>.
14. Volchuk V. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism / V. Volchuk, I. Klymenko, S. Kroviakov, M. Orešković // Tehnički glasnik – Technical Journal. – 2018. – Vol. 12. – № 2. – P. 93–97. – Режим доступу : <https://doi.org/10.31803/tg-20180302115027>.

15. Большаков В. И. К вопросу о постановке задачи идентификации фрактальной структуры металла / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – № 5. – С. 35–39. – Режим доступу : <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/68905/63995>.
16. Дубров Ю. И. Область функционирования антропоморфной системы / Ю. И. Дубров, В. Н. Волчук, В. И. Большаков // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2018. – № 4. – С. 10–16. – Режим доступу : <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.231018.10.305>.
17. Thorndike E. L. Animal Intelligence / E. L. Thorndike. – New-York : Macmillan Company, 1911. – 324 p.
18. Zeeman E. C. Catastrophe theory : selected papers, 1972–1977 / E. C. Zeeman. – London : Addison-Wesley, 1977. – 675 p.
19. Арнольд В. И. Теория катастроф : монография / В. И. Арнольд. – Москва : Наука, 1990. – 128 с.

REFERENCES

1. Dubrov Yu.I. *Nauka yak systema, shcho samoorganizuyet'sya* [Science as a self-organizing system]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2000, no. 2, pp. 16–22. (in Ukrainian).
2. Bolshakov V.I. and Dubrov Yu.I. *Pro rol' konfliktiv v evolyutsiynnykh protsesakh* [On the role of conflicts in evolutionary processes]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2000, no. 2, pp. 16–22. (in Ukrainian).
3. Kuusi P. *Etot chelovecheskiy mir* [This human world], Moscow : Progress Publ., 1988, 326 p. (in Russian).
4. Ouen G. *Teoriya igr* [Game Theory]. Moscow : Mir Publ., 1971, 230 p.
5. Lorentz H.A. The motion of electrons in metallic bodies II. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 1905, vol. 7, pp. 585–593.
6. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Fraktal'nyy podkhod pri identifikatsii slozhnykh sistem* [Fractal approach to the identification of complex systems]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2017, no. 6, pp. 46–50. (in Russian).
7. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Puti identifikatsii slozhnykh sistem* [Ways of identification of complex systems]. *Visnyk Prydniprov'skoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, no. 3, pp. 10–14. (in Russian).
8. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *O primenenii imitatsionnogo modelirovaniya v materialovedenii* [The application simulated modelling in materials science]. *Metalloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2015, no. 4. pp. 26–31. (in Russian).
9. Gorodetski A. Minimal and strange attractors. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2018, vol. 6, no. 6, pp. 1177–1183.
10. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Osnovy organizatsii fraktal'nogo modelirovaniya* [Fundamentals of fractal modeling]. Kyiv : Akadempriodika, 2017, 170 p. (in Russian).
11. Bolshakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. *Fractals and properties of materials*. Saarbrucken : Lambert Academic Publishing, 2016, 140 p.
12. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Organizatsiya fraktal'nogo modelirovaniya* [Organization of fractal modeling]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2018, no. 6, pp. 67–72. (in Russian).
13. Volchuk V.M. *K primeneniyu fraktal'nogo formalizma pri ranzhirovanii kriteriyev kachestva mnogoparametricheskikh tekhnologiy* [On the Application of Fractal Formalism for Ranging Criteria of Quality of Multiparametric Technologies]. *Metallofizika i noveyshiye tekhnologii* [Metal Physics and Advanced Technologies]. 2017, vol. 39, no 3, pp. 949–957. (in Russian).
14. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S. and Orešković M. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism. *Tehnički glasnik – Technical Journal*. 2018, vol. 12, no. 2, pp. 93–97.
15. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *K voprosu o postanovke zadachi identifikatsii fraktal'noy struktury metalla* [Statement on the issue of the problem identification of fractal metal structures]. *Visnyk Prydniprov'skoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2016, no. 5, pp. 35–39. (in Russian).
16. Dubrov Yu.I., Volchuk V.M. and Bolshakov V.I. *Oblast' funkcionirovaniya antropomorfnoy sistemy* [Scope of anthropomorphic system functioning]. *Visnyk Prydniprov'skoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, no. 4, pp. 10–16.
17. Thorndike E.L. Animal Intelligence. New-York : Macmillan Company, 1911, 324 p.
18. Zeeman E.C. Catastrophe theory : selected papers, 1972–1977. London: Addison-Wesley, 1977, 675 p.
19. Arnold V.I. *Teoriya katastrof* [Catastrophe Theory]. Moscow : Nauka Publ., 1990, 128 p. (in Russian).

Надійшла до редакції : 17.05.2019 р.

УДК 504.05/06

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.24.459

PARTICLE EMISSION IN PAPER PRINTING FACILITY IN LA ROCHELLE

DOUMONGUE M.^{1*}; *Stud.*,

BOULBAIR A.²; *Stud.*,

LIMAM K.³; *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

BENABED A.⁴; *Postgrad. Stud.*

^{1*} Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, 23, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle CEDEX 01, France, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : mba.ddumongue@etudiant.univ-lr.fr

² Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, 23, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle CEDEX 01, France, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : amir.boulbair1@univ-lr.fr

³ Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, 23, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle CEDEX 01, France, tel. +33-5-46-45-86-23, e-mail : klimam01@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0002-1534-4565

⁴ Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, 23, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle CEDEX 01, France, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : ahmed.benabed@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0003-4283-3636

Abstract. Problem statement. Printing services are known to release multiple pollutants of different sizes during the different processes of printing, gluing and cutting paper. **The purpose of this article** was the quantification of pollutant indoor emissions during working shifts in printing service. Particle concentration measurement when three printings are operating continuously showed that values of PM10 and PM2.5 could exceed the limits set by the World Health Organisation (WHO). **Conclusion.** Measurements in confined environments containing printer and the gluing machine have shown that concentrations can reach values above the limits set by WHO and worrying values in the case of gluing machine. The result affirms the importance of ventilation system and the necessity of dispersing machines in a large.

Keywords: *particule pollution; environmental quality; health risk; air quality standards; printers; cutting paper machines; gluing machines*

ВИКИДИ ДРІБНИХ ЧАСТИНОК В ДРУКАРСЬКІЙ ГАЛУЗІ

ДУМАНЖ М.^{1*}; *студ.*,

БУЛБАР А.²; *студ.*,

ЛІМАМ К.³; *д. т. н., проф.*,

БЕНАБЕД А.⁴; *аспірант*

^{1*} Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : mba.ddumongue@etudiant.univ-lr.fr

² Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : amir.boulbair1@univ-lr.fr

³ Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, tel. +33-5-46-45-86-23, e-mail : klimam01@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0002-1534-4565

⁴ Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : ahmed.benabed@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0003-4283-3636

Анотація. Постановка проблеми. Відомо, що підприємства поліграфічних послуг викидають в навколишнє середовище численні забруднюючі речовини під час різних процесів друку, склеювання та різання паперу. Тому все більше працівників друкарської галузі скаржаться на проблеми зі здоров'ям, які виникають внаслідок впливу механізмів. **Метою** даного дослідження було кількісне визначення викидів забруднюючих речовин в приміщенні під час робочих змін у поліграфічній галузі. **Методика.** Дослідження проведені на поліграфічному підприємстві, розташованому в місті Ля-Рошель. Вимірювання проводились в різних приміщеннях-секціях, що містять принтери, ріжучі паперові машини, склеювальні машини, та в складських приміщеннях. Проведення вибірки проводилося у трьох секціях об'єкта: дві секції містять друкарські та склеювальні машини, третя – на стійці реєстрації. Вибірка концентрації частинок проводилася з використанням оптичного лічильника Grimm із проміжком часу для відбору проб 1 хв. Під час вимірювань двері між різними ділянками об'єкта залишалися відкритими. Вимірювання концентрації частинок, коли три друкарські машини працюють постійно, показало, що значення кількості частинок PM10 і PM2,5 можуть перевищувати нормативні обмеження, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я. **Висновок.** Вимірювання в закритих приміщеннях, де розташовані принтер і склеювальна машина, показали, що концентрації частинок в повітрі можуть досягати значень вищих, ніж встановлено стандартами, і тривожних значень у випадку склеювальної машини. Результат підтверджує важливість системи вентиляції та необхідність диспергування машин у великих розмірах.

Ключові слова: забруднення повітря; якість навколишнього середовища; ризик для здоров'я; стандарти якості повітря; принтери; машини для різання паперу; склеювальна машина

Introduction. Indoor air pollution in workplaces has become a major concern in recent years as it can have a harmful effect on human health [1–3]. Indoor air pollution is also important because we spend most of our time in confined spaces: home, work, means of transport [4]. It has been shown that the comfort and well-being of employees in their workplaces directly affect their performance and productivity [5]. There are different types of indoor air pollutants, namely inorganic gases, volatile organic compounds (VOCs), particulates, airborne microorganisms and radon [1].

Despite the numeric revolution in the last years, printing still considered as a necessary tool in different sectors. Though, studies indicate that during printing or gluing processes multiple pollutants (VOCs, fine and ultrafine particles) are emitted in the indoor environment [6; 7]. Therefore, an increasing number of printing press facility employees complain about health problems, which are due to the exposure to machines.

Studies in this area are focused on VOC, however, analysis of emissions in these environments revealed the presence of fine particles (0.1...10 μm) and ultrafine (5...350 nm) particles. In fact, fine and ultrafine particles administered to the lung cause a greater inflammatory response. It appears also that ultrafine particles, after deposition in the lung, largely escape alveolar macrophage surveillance and gain access to the pulmonary interstitium [8]. It is therefore important to evaluate particulate emissions from different machines and their impact on the indoor environment.

The main objective of this work is to study the influence of printing and gluing machines on the indoor environment. Measurements of PM₁₀, PM_{2.5} concentrations were carried out for several working shifts. Various cases have been studied in function with the number of operating machines. Measurements are also carried out in confined environments.

Materials and methods

The present study was carried out in a printing service located in La Rochelle city. The facility devised into different sections containing printers, cutting paper machines, gluing machines and storage rooms. The sampling campaign was conducted in three sections of the facility: two sections contain printing, gluing machines and in the reception desk (fig. 1). Section 1 (S1) contains a chamber which contains computers to program and activate printers. This room also contains three printers IM1, IM2, and IM3 arranged as schematized in figure 1. References of the three printers are shown in Table 1. Section 2 (S2) contains a gluing machine IM4. Positions of the ventilation openings and air conditioner are illustrated in Figure 1. The speed values at the inlet of the ventilation openings are of the order of 1.5 m/s. Velocities were measured using a hot wire anemometer type VELOCICALC PLUS 9545.

Particle concentration sampling was carried out using the Grimm model particle optical counter OPC with a sampling time of 1 min. Measurements were carried out according in three cases.

1. Measurement in S1 during a working shift when one printer is operating. The OPC has been placed in position P (fig. 1).
2. Measurement in S1 during one working shift when three printers are operating. The OPC has been placed in position P (fig. 1). Meanwhile, particle concentration in the reception desk was evaluated.
3. Confinement measurement, where a machine is covered with a plastic tarpaulin. Using this technique, emissions of two machines (IM3 and IM4) were evaluated.

During the measurements, doors between the different sections of the facility were kept open.

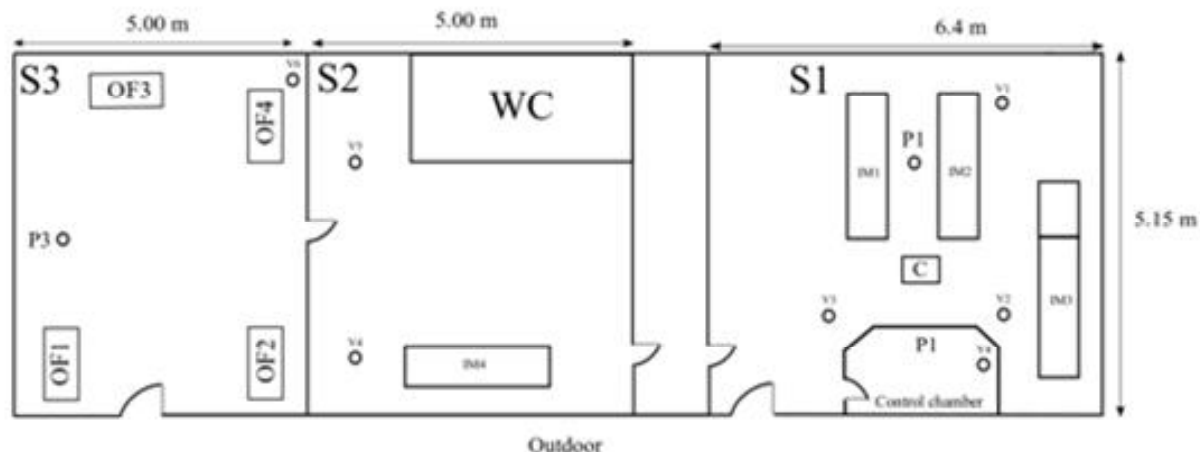


Fig. 1. Schematization of different sections of the press:
 S1 – Section 1, S2 – Section 2, IM1, IM2, IM3 – Printers, IM4 – Gluing machine,
 C – Air conditioning, V – Air opening, OF – Office, P – Sampling position

Table 1

References of the three printers

Machine name	References
IM1	PRO 8100s
IM2	PRO C7100s
IM3	BLOCKMATIC 350

Results

Table 2 shows a comparison between the PM10 and PM2.5 levels for the two cases 1 and 2 in section S1 and inside the control chamber. The table shows firstly similar values in S1 and in the control chamber. This is certainly, because the chamber is next to S1 and its door has been opening several times during the measurement period. Furthermore, the control chamber has a ventilation opening operating in a suction mode. Table 2 also shows a high average and maximum concentration values during case 2 measurement compared with case 1. The ratio between the maximum concentrations in the two cases reaches 4.3 for PM10 and 2.5 for PM2.5. Results show that limits set by the WHO were exceeded in case 1 with ratios 3 for PM10 and 2 for PM2.5.

Table 3 shows the average of PM10 and PM2.5 concentrations in section S3 during case 2. To be noted that PM10 and PM2.5 concentrations reach values similar to those reached in section S1. This result reveals that particles emitted in S1 can reach the reception

despite the fact the two sections are separated with S2. This affirms that the ventilation system used in the facility is not efficient to evacuate pollutant air to outdoor.

Figure 2 shows the evolution of PM10 and PM2.5 concentrations in the confined volume of IM3. The figure contains four pics which correspond to different operating phases of the printer. It can be noticed that in the absence of ventilation, concentration can reach high levels. However, in this case concentrations remain below the limits set by the WHO.

Figure 3 shows the temporal evolution of PM10 and PM2.5 concentrations under the tarpaulin near the gluing machine IM4. A high increase in concentration can be noticed after switching on the machine. Concentration reaches very high values $10\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Containment technique highlights the real risk employees are exposed to when standing near the machine or in an extremely unfavorable case, for example during a turn off of the ventilation system.

Table 2

Comparison of average and daily maximum values of the different measures in S1

		S1		Chamber	
		PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Average	Case 1	25.00	15.70	24.10	15.10
	Case 2	67.10	24.95	64.18	24.66
Maximum	Case 1	36.00	19.40	35.74	19.30
	Case 2	155.50	47.60	155.50	47.60
WHO		50	25		

Table 3

Daily average and maximum values of PM10 and PM2.5 in the reception area

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Moyenne	62.75	20.75
Max	121.8	35.5

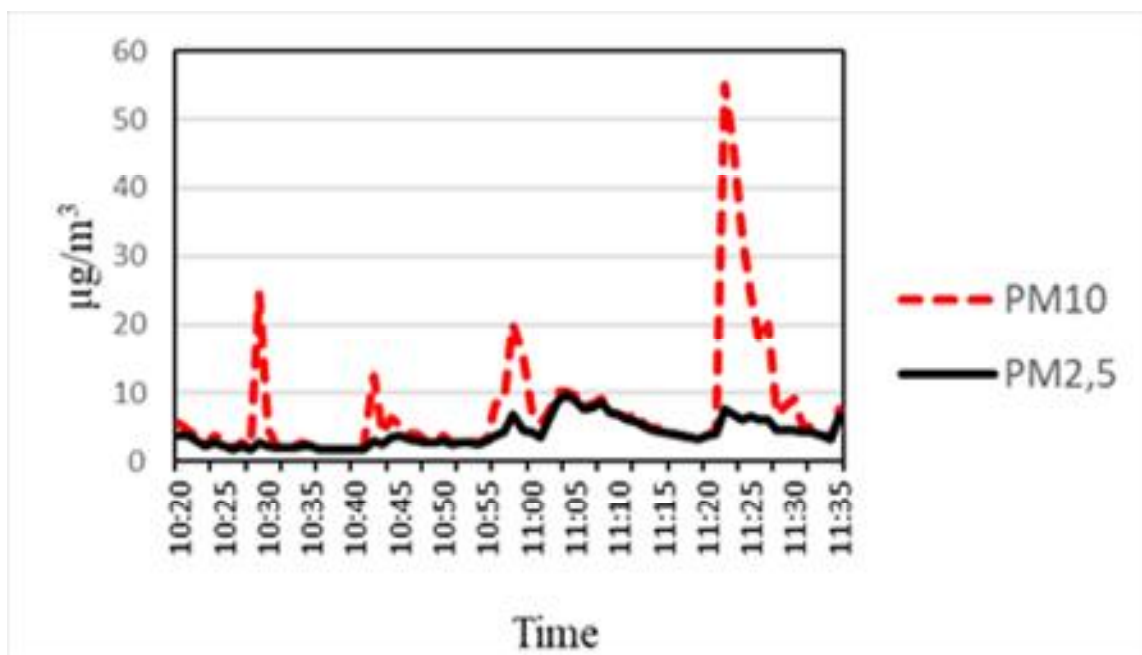


Fig. 2 : Temporal variation of PM10 and PM2.5 in the confined environment of IM3

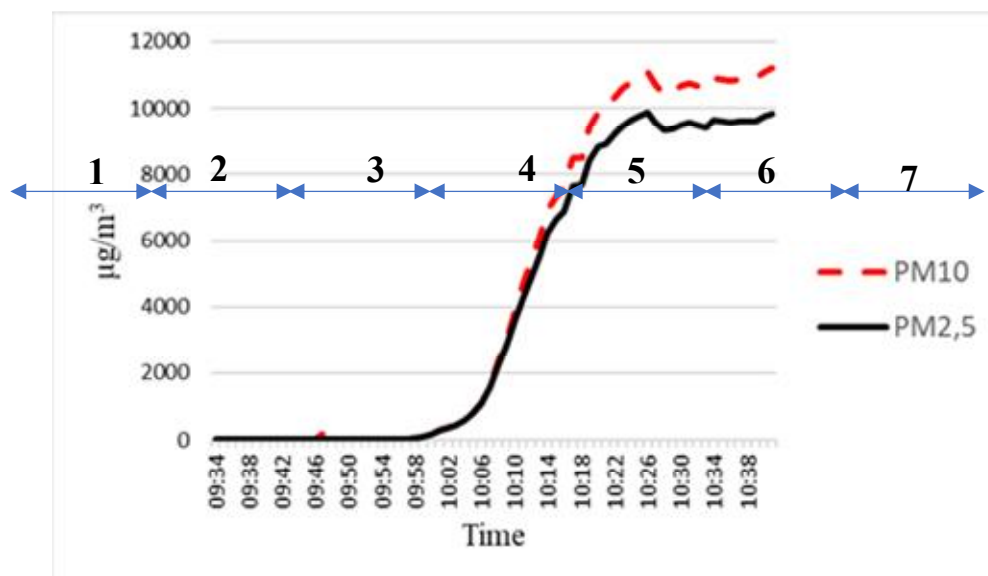


Fig. 3. Temporal variation of PM10 and PM2.5 in the confined environment of IM4

Conclusion. Research conducted in this paper is an experimental contribution to evaluating particle emission levels in a printing facility during the gluing and printing processes. Measurements of PM10 and PM2.5 concentrations were carried out during working shifts in printing service. The findings obtained in this study significantly enhance our understanding of the levels and emission sources, which affect indoor concentrations.

Measurements have shown that, when all machines are running simultaneously, the maximum particle concentrations exceed the

limits set by WHO. This result affirms the importance of ventilation system and the necessity of dispersing machines in a large. Concentration measurement in a confined environment allows evaluating the real risk that employees are exposed to.

The further study of the emission sources in a wide range of occupational environments as well as the measurements of the exposure levels at the employees' could be significant for knowledge and could help the development of the strategies for a healthier working environment.

REFERENCES

1. Mendell M.J. Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children. *Indoor air*, 17, 2007, pp. 259–277.
2. Viegi G., Simoni M., Scognamiglio A., Baldacci S., Pistelli F., Carrozzi L. and Annesi-Maesano I. Indoor air pollution and airway disease, state of the Art. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 8, 2004, pp. 1401–1415.
3. Klepeis N.E, Nelson W.C., Ott W.R, Robinson J.P, Tsang A.M, Switzer P. and others .The national human activity pattern survey nhaps : a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 11, 2001, pp. 231–252.
4. Brunekreef B. and Holgate S. Air pollution and health. *The Lancet*–360, 2002, pp. 1233–1242.
5. Saraga D., Pateraki S., Papadopoulos A., Vasilakos Ch. and Maggos Th. Studying the indoor air quality in three non-residential environments of different use: a museum, a printery industry and an office. *Building and Environment*, 46, 2333–41, 2011, pp. 23–33.
6. Al. Awadi L., Al-Rashidi M., Pereira B., Pillai A. and Khan A. Indoor air quality in printing press in Kuwait. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2018.
7. Oberdorster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int Arch Occup environ health*, 74; 2001, pp. 1–8.

Надійшла до редакції: 15.06.2019 р.

УДК 669.017:519.21

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.29.460

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТВЕРДОСТІ СТАЛІ Р6М5

КАЧУР В. І., бакалавр

Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: Spbdnepr@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3179-1928

Анотація. Вступ. Оцінювання критеріїв якості інструментальної швидкохідної сталі Р6М5 неруйнівними методами – актуальне завдання. Це пов'язано з тим, що інструменти з неї використовуються для роботи на різальних, шліфувальних, свердлильних верстатах, оскільки провести натурні іспити на таких деталях не завжди технічно можливо. У статті запропоновано методіку оцінювання показників твердості сталі із застосуванням математичного моделювання. **Матеріали та методика.** Досліджувався вплив елементів хімічного складу сталі Р6М5 на показники твердості із застосуванням методіки планування експериментів. Хімічний склад сталі змінювався згідно з прийнятими нормативними документами (ГОСТ 19265). **Результати експерименту.** Досліджувались робоча область вибраних параметрів (показників елементів хімічного складу) та функції мети (твердості). Діапазон числових значень параметрів робочої зони обмежувався граничними значеннями показників хімічного складу сталі Р6М5. Для побудови матриці планування експериментів обиралися лише ті рядки, по яких була відома інформація про показники твердості з літературних джерел або на основі аналізу експертної інформації. В процесі реалізації матриці планування експериментів отримано регресійну модель оцінювання показників твердості сталі Р6М5 залежно від її хімічного складу. Модель адекватна згідно з критеріями Фішера ($F = 1,002$) та Кохрена ($F = 0,336$). На основі аналізу моделі побудовано гістограму впливу елементів хімічного складу на показники твердості, що підтверджується їх фізико-хімічною взаємодією. Встановлено, що найбільше впливають на твердість сталі Р6М5 вуглець (1,050), хром (0,550) та вольфрам (0,275). **Висновки.** Для сталі Р6М5 шляхом методіки планування експериментів отримано модель прогнозу показників твердості залежно від хімічного складу, що сприяє економії матеріально-часових витрат на натурні іспити.

Ключові слова: сталь Р6М5; матриця планування; хімічний склад; математична модель; твердість

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ СТАЛИ Р6М5

КАЧУР В. И., бакалавр

Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: Spbdnepr@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3179-1928

Аннотация. Введение. Оценка критериев качества инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 неразрушающими методами представляет собой актуальную задачу. Инструменты из нее используются для работы на режущих, шлифовальных, сверлильных станках. Провести натурные испытания на таких деталях не всегда технически возможно. В работе предложена методика оценки показателей твердости стали с применением математического моделирования. **Материалы и методика.** Исследовалось влияние элементов химического состава стали Р6М5 на показатели твердости с использованием методіки планирования экспериментов. Химический состав стали менялся согласно принятым нормативным документам (ГОСТ 19265). **Результаты эксперимента.** Исследовалась рабочая область выбранных параметров (показателей элементов химического состава) и функции цели (твердости). Диапазон численных значений параметров рабочей зоны ограничивался предельными значениями показателей химического состава стали Р6М5. Для построения матрицы планирования экспериментов избирались только те строки, по которым была известна информация о показателях твердости из литературных источников или на основе анализа экспертной информации. В процессе реализации матрицы планирования экспериментов получена регрессионная модель оценки показателей твердости стали Р6М5 в зависимости от ее химического состава. Модель адекватна согласно критериям Фишера ($F = 1,002$) и Кохрена ($F = 0,336$). На основе анализа модели построена гистограмма влияния элементов химического состава на показатели твердости, что подтверждается их физико-химическим взаимодействием. Установлено, что наибольшее влияние на твердость стали Р6М5 оказывают углерод (1,050), хром (0,550) и вольфрам (0,275). **Выводы.** Для стали Р6М5 путем методіки планирования экспериментов получена модель прогноза показателей твердости в зависимости от химического состава, что приводит к экономии материально-временных затрат на натурные испытания.

Ключевые слова: сталь Р6М5; матрица планирования; химический состав; математическая модель; твердость

MATHEMATICAL MODEL FOR HARDNESS TEST FOR STEEL R6M5

KACHUR V.I., *Bachelor*

Department of Materials Science and Material Processing, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 47-39-56, e-mail: Spbdnepr@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3179-1928

Abstract. Introduction. The evaluation of the quality criteria of the instrumental quick-cutting steel R6M5 by non-destructive methods is an urgent task. This is due to the fact that tools made from it are used to work on cutting, grinding, drilling machines, since it is not always technically possible to carry out full-scale tests on such parts. The paper proposes a method for evaluating the hardness of steel with the use of mathematical modelling. **Materials and methods.** In this work the influence of elements of the chemical composition of steel R6M5 on the hardness indexes was investigated using the method of experiment planning. The chemical composition of the steel changed in accordance with accepted regulatory documents (GOST 19265). **Experiment results.** The working area of the selected parameters (indicators of elements of chemical composition) and the objective function (hardness) were investigated. The range of numerical values of the parameters of the working area was limited to the limiting values of the indicators of the chemical composition of steel R6M5. To build the planning matrix of experiments, only those lines were selected for which information on hardness indicators was known from literary sources or based on the analysis of expert information. In the process of implementation of the matrix of experimental planning, a regression model for evaluating the hardness values of steel R6M5, depending on its chemical composition, was obtained. The model is adequate according to Fisher criteria ($F = 1,002$) and Kochren ($F = 0,336$). Based on the analysis of the model, the histogram of the influence of the elements of the chemical composition on the hardness indexes is constructed, which is confirmed by their physicochemical interaction. It was found that the greatest influence on the hardness of steel R6M5 is given by carbon (1,050), chromium (0,550) and tungsten (0,275). **Conclusions.** For steel R6M5 by the method of planning of experiments the model of the prediction of hardness parameters depending on the chemical composition is obtained, which leads to save the material and time costs for natural tests.

Keywords: *steel R6M5; matrix of planning; chemical composition; mathematical model; hardness*

Вступ. Твердість металу – одна з його основних механічних та експлуатаційних характеристик. Оцінювання показників твердості різних матеріалів проводиться за допомогою традиційних методик вдавлення інденторів різної форми залежно від їх складу та будови (структури) [1; 2]. Однак прогноз показників твердості металу, як і інших його критеріїв якості, на основі аналізу фазового і хімічного складу або структури залишається актуальним завданням металознавства, оскільки він допомагає виявляти та ранжувати по їх значимості параметри, які найбільше впливають на цю характеристику [3–5].

Для визначення показників якості сталей та чавунів, включаючи твердість, застосовують також математичне моделювання [6–8], фрактальний підхід [9–12] і [13; 14] для оцінювання якості чавунів застосовують системний підхід;

експертні оцінки [15; 16]; регресійний аналіз [17; 18]. Для цієї мети успішно користуються методикою планування експериментів [19–22]. Вона дозволяє з мінімальними матеріальними та часовими витратами на проведення натурних іспитів визначити найбільш впливові характеристики на функцію мети.

Для оцінювання показників твердості інструментальної швидкорізальної сталі Р6М5 запропоновано застосувати методику планування експериментів із використанням статистичної інформації та експертних оцінок. Інструменти зі сталі Р6М5 мають відповідальне призначення і широко застосовуються для різальних, шліфувальних і свердлильних верстатів та іншого обладнання.

Матеріали та методика. Сталь Р6М5 досліджувалася в стані заводської поставки (табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад сталі Р6М5 / Chemical composition of steel Р6М5

Вміст (мас. част.,%)	C	Cr	W	V	Mo
Р6М5	0,80...0,88	3,80...4,40	5,50...6,50	1,70...2,10	5,00...5,50

Показники твердості сталі змінювалися від 63 до 65 HRC згідно зі штатною технологією.

Результати експерименту. Для оцінювання твердості застосовувалася методика планування експериментів, що дозволяє отримувати інформацію про зміни показників функції найменшою кількістю дослідів. Використовувався дворівневий експеримент (-1 та +1) в матриці на 16 рядків, де кожний рядок матриці описує окремо проведений експеримент (табл. 2).

Обчислювалися значення функції, отримані експериментально $Y_{екс}$ та за допомогою отриманого рівняння регресії $Y_{роз}$, наведені в таблиці 2. Тут значення ЗР означає загальний рівень показників аргументів ($X_1...X_5$); НР та ВР – нижній та верхній рівні аргументів відповідно й ІВ – інтервал варіювання $X_1...X_5$. Аргументами функції мети (твердості) виступали такі параметри: вуглець (X_1), хром (X_2), вольфрам (X_3), ванадій (X_4) та молібден (X_5).

Таблиця 2

Матриця планування експериментів для сталі Р6М5 / Experiment planning matrix for steel Р6М5

ЗР		0,84	4,10	6,00	1,90	5,25	Показники твердості, HRC	
ІВ		0,04	0,30	0,50	0,20	0,25		
ВР		0,88	4,40	6,50	2,10	5,50		
НР		0,80	3,80	5,50	1,70	5,00		
№	X_0	X_1 (C)	X_2 (Cr)	X_3 (W)	X_4 (V)	X_5 (Mo)	$Y_{екс}$	$Y_{роз}$
1	+	+	+	+	+	+	65,0	65,1
2	+	+	+	+	-	+	64,9	64,9
3	+	+	+	-	+	+	64,8	64,8
4	+	+	+	-	-	+	64,7	64,7
5	+	+	-	+	+	-	64,6	64,5
6	+	+	-	+	-	-	64,5	64,4
7	+	+	-	-	+	-	64,3	64,8
8	+	+	-	-	-	-	64,2	64,1
9	+	-	+	+	+	-	64,1	64,0
10	+	-	+	+	-	-	64,0	63,9
11	+	-	+	-	+	-	63,8	63,8
12	+	-	+	-	-	-	63,7	63,6
13	+	-	-	+	+	+	63,5	63,5
14	+	-	-	+	-	+	63,3	63,4
15	+	-	-	-	+	+	63,2	63,2
16	+	-	-	-	-	+	63,0	63,1

У результаті реалізації матриці планування експерименту отримано математичну модель оцінювання твердості

сталі Р6М5 залежно від впливу елементів її хімічного складу:

$$Y_{\text{роз}} = 64,100 + 0,525 \cdot X_1 + 0,275 \cdot X_2 + 0,137 \cdot X_3 + 3 + 0,062 \cdot X_4 + 0,050 \cdot X_5.$$

Аналіз коефіцієнтів рівняння дозволив визначити вагу впливу кожного з елементів хімічного складу на показники твердості HRC та провести їх ранжування шляхом нормування коефіцієнтів (див. рисунок).

З гістограми, наведеної на рисунку випливає, що найбільше впливають на функцію мети x_1 (вуглець), x_2 (хром) та x_3 (вольфрам). Більша частина зв'язаного вуглецю у сталі Р6М5, що міститься у вигляді цементиту Fe_3C (карбід заліза). Збільшення кількості вуглецю в сталі до 1,2 % сприяє зростанню показників міцності, включаючи показники твердості, але при цьому знижує показники в'язкості,

здатність до зварювання. Підвищення відсоткової кількості хрому позитивно впливає на показники міцності, загартованості і жаростійкості, різальні та трибологічні властивості, але негативно – на показники в'язкості та теплопровідності сталі.

Вольфрам завдяки утворенню карбідів підвищує показники твердості, червоностійкості та опір сталі до корозії і зносостійкості [1].

Атоми ванадію служать додатковими центрами кристалізації, що зумовлює отримання сталі з дрібнозернистою структурою. Тому V поліпшує показники твердості та міцності металу. Легування сталі молібденом також поліпшує характеристики міцності і твердості та інші службові характеристики сталей різних марок [1].

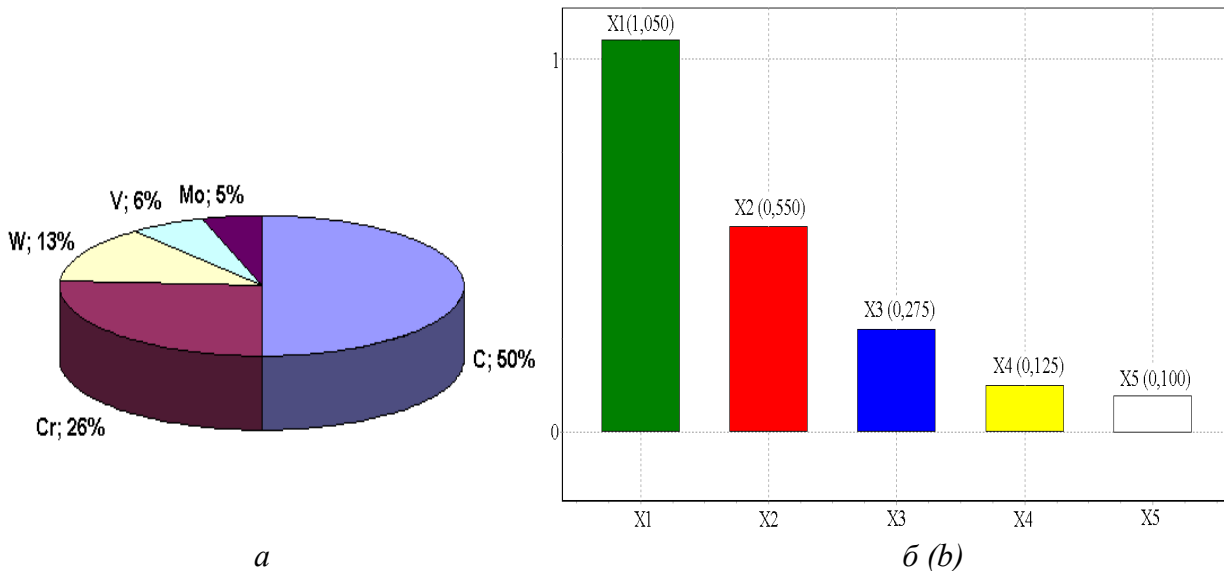


Рис. Гістограма впливу елементів хімічного складу сталі Р6М5 на твердість

a – показники в % відношенні; *b* – нормовані показники / Fig. Histogram of the influence of elements of the chemical composition of steel P6M5 on hardness: *a* – indicators in % relative; *b* – normalized indicators

За допомогою методів статистики отриману модель перевіряли на адекватність та збіжність результатів із використанням критеріїв Фішера та Кохрена. Результати свідчать про роботоспроможність моделі:

– критерій Фішера $F_{\text{спостережень}} = 1,003$ за критичного значення 2,400;

– критерій Кохрена $F_{\text{спостережень}} = 0,336$ за критичного значення 0,547.

Висновки. Розроблено математичну модель оцінювання показників твердості

інструментальної швидкорізальної сталі Р6М5. Адекватність моделі підтверджується критеріями Фішера та Кохрена, що дозволяє використовувати модель для коригування хімічного складу інструментів, що виготовляються з досліджуваної марки сталі, та отримання їх необхідних показників твердості залежно від вимог нормативних документів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуляев А. П. *Металловедение : монография / А. П. Гуляев.* – Москва : *Металлургия*, 1986. – 542 с.
2. Большаков В. И. *Субструктурное упрочнение конструкционных сталей : монография / В. И. Большаков.* – Торонто : *Базилиан Пресс*, 1998. – 316 с.
3. Большаков В. И. Идентификация многопараметрических, многокритериальных технологий и пути их практической реализации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2013. – № 4. – С. 5–11.
4. Волчук В. М. Ранжування елементів хімічного складу металу / В. М. Волчук, О. Р. Живиця // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.* – 2018. № 3. – С. 36–41. – Режим доступу : <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.250918.36.194>
5. Волчук В. Н. Исследования влияния химического состава чугуновых прокатных валков на их механические свойства / В. Н. Волчук // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.* – 2014. – № 5. – С. 12–18. – Режим доступу: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/40698>.
6. Большаков В. И. О применении имитационного моделирования в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2015. – № 4. – С. 26–31. – Режим доступу : <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/26-31>
7. Bolshakov V. I. Regularization of One Conditionally III-Posed Problem of Extractive Metallurgy / V. I. Bolshakov, V. M. Volchuk, Yu. I. Dubrov // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2018. – Vol. 40, № 9. – Pp. 1165–1171. – Режим доступу : DOI: 10.15407/mfint.40.09.1165
8. Большаков В. И. К определению метрики объекта идентификации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2016. – № 4. – С. 10–14. – Режим доступу : <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/10-14/85306>
9. Volchuk V. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism / V. Volchuk, I. Klymenko, S. Kroviakov, M. Orešković // *Tehnički glasnik – Technical Journal.* – 2018. – Vol. 12. – № 2. – Pp. 93–97. – Режим доступу: <https://hrcak.srce.hr/202359>
10. Волчук В. Н. К применению фрактального формализма при ранжировании критериев качества многопараметрических технологий / В. Н. Волчук // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2017. – Т. 39. – № 3. – С. 949–957. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/130334>
11. Основы организации фрактального моделирования : монография / [В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров]. – Киев : *Академперіодика*, 2017. – 170 с.
12. Волчук В. Н. К вопросу о применении теории мультифракталов для оценки механических свойств металла / В. Н. Волчук // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2014. – № 3. – С. 12–19. – Режим доступу : <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/12-19>
13. Большаков В. И. О прогнозировании качества целевого продукта в периодических технологиях / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // *Доповіди НАН України.* – 2014. – № 11. – С. 77–81. – Режим доступу : <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.11.0771>
14. Большаков Вад. І. Системний аналіз технології виробництва масивного металевого лиття / Вад. І. Большаков, В. І. Большаков, В. М. Волчук, Ю. І. Дубров // *Вісник НАН України.* – 2015. – № 9. – С. 69–73. – Режим доступу : <http://dx.doi.org/10.15407/visn2015.09.069>
15. Волчук В. Н. К определению области компромисса характеристик качества материалов / В. Н. Волчук // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2015. – № 3. – С. 21–25. – Режим доступу : <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/23-30>
16. Пути индентификации периодических многокритериальных технологий : монография / [Ю. Дубров, В. Большаков, В. Волчук]. – Саарбрюккен : *Palmarium Academic Publishing*, 2015. – 236 с. – Режим доступу : <https://www.palmarium-publishing.ru/extern/listprojects>
17. Большаков В. И. Идентификация многопараметрических, многокритериальных технологий и пути их практической реализации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2013. – № 4. – С. 5–11.
18. Большаков В. И. Применение теоретико-информационного подхода для идентификации структуры металла / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.* – 2014. – № 8. – С. 4–9. – Режим доступу : <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/4134>
19. Mishutn A. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures / A. Mishutn, S. Kroviakov, O. Pishev, B. Soldo // *Technical Journal.* – 2017. – Vol. 11, № 3. – Pp. 121–124. – Режим доступу : <https://hrcak.srce.hr/186657>
20. Kroviakov S. Production technology of modified expanded clay lightweight concrete for floating structures / S. Kroviakov, A. Mishutn // *The Scientific Journal of Cihan University – Sulaimanya.* – 2017. – Vol. 1. – № 4. – Pp. 2–10.
21. Дубров Ю. И. Применение экспертной информации при формировании активного эксперимента в материаловедении / Ю. И. Дубров, В. Н. Волчук, В. И. Большаков // *Моделирование и оптимизация в*

материаловедении : матер. к 40-му междунар. сем. по моделированию и оптимизации композитов. – Одесса : АстроПринт, 2001. – С. 25–26.

22. Большаков В. И. Композиция метода планирования экстремальных экспериментов и экспертной информации для формирования системы прогноза качества материалов / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Л. Н. Дейнеко, Ю. И. Дубров // Перспективные задачи инженерной науки. – Вып. 2. – Днепропетровск : GAUDEAMUS, 2001. – С. 203–208.

REFERENCES

1. Gulyayev A.P. *Metallovedeniye* [Metallography]. Moscow : Metallurgy Publ., 1986, 542 p. (in Russian).
2. Bolshakov V. I. *Substrukturnoye uprochneniye konstruksionnykh staley* [Substructural strengthening of structural steels]. Toronto : Bazilian Press Publ., 1998, 316 p. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Identifikatsiya mnogoparametricheskikh, mnogokriterial'nykh tekhnologiy i puti ikh prakticheskoy realizatsii* [Multiparameter identification, multicriteria techniques and ways of their implementation]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2013, no 4., pp. 5–11. (in Russian).
4. Volchuk V.M. and Zhivitsa O.R. *Ranzhuvannya elementiv khimichnoho skladu metalu* [Ranking of elements of chemical composition of metal]. *Visnyk Prydniprovsk'oyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, no. 3, pp. 36–41. (in Ukrainian).
5. Volchuk V.M. *Issledovaniya vliyaniya khimicheskogo sostava chugunnykh prokatnykh valkov na ikh mekhanicheskiye svoystva* [Studies of the influence of the chemical composition of cast iron rolls on their mechanical properties]. *Visnyk Prydniprovsk'oyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2014, no. 5, pp. 12–18. (in Russian).
6. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *O primenenii imitatsionnogo modelirovaniya v materialovedenii* [The application simulated modelling in materials science]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2015, no. 4. pp. 26–31. (in Russian).
7. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. Regularization of One Conditionally ill-Posed Problem of Extractive Metallurgy. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii* [Metal Physics and Newest Technologies]. 2018, vol. 40, no. 9, pp. 1165–1171.
8. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *K opredeleniyu metriki ob"yektov identifikatsii* [To the definition of the identity metric]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2016, no. 4, pp. 10–14. (in Russian).
9. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S. and Orešković M. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism. *Tehnički glasnik – Technical Journal*. 2018, vol. 12, no. 2, pp. 93–97.
10. Volchuk V.M. *K primeneniyu fraktal'nogo formalizma pri ranzhirovanii kriteriyev kachestva mnogoparametricheskikh tekhnologiy* [On the Application of Fractal Formalism for Ranging Criteria of Quality of Multiparametric Technologies]. *Metallofizika i noveyshie tekhnologii* [Metal Physics and Advanced Technologies]. 2017, vol. 39, no 3, pp. 949–957. (in Russian).
11. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Osnovy organizatsii fraktal'nogo modelirovaniya* [Fundamentals of fractal modeling]. Kyiv : Akademperiodika, 2017, 170 p. (in Russian).
12. Volchuk V.N. *K voprosu o primenenii teorii mul'tifraktalov dlya otsenki mekhanicheskikh svoystv metalla* [On the application of the theory of multifractals for the evaluation of the mechanical properties of a metal]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2014, no. 3, pp. 12–19. (in Russian).
13. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *O prognozirovanii kachestva tselevogo produkta v periodicheskikh tekhnologiyakh* [Predicting the quality of a desired product in periodic technologies]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2014, no. 11, pp. 77–81. (in Russian).
14. Bolshakov Vad.I., Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Systemnyy analiz tekhnolohiyi vyrobnytstva masyvnogo metalevoho lyttya* [System analysis techniques of producing solid metal castings]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2015, no. 9, pp. 69–73. (in Ukrainian).
15. Volchuk V.M. *K opredeleniyu oblasti kompromissa kharakteristik kachestva materialov* [By identifying areas compromise performance materials quality]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2015, no. 3, pp. 21–25. (in Russian).
16. Dubrov Yu., Bolshakov V. and Volchuk V. *Puti identifikatsii periodicheskikh mnogokriterial'nykh tekhnologiy* [Road periodic identification of multi-criteria Technology]. Saarbrucken : Palmarium Academic Publishing, 2015, 236 p. (in Russian).
17. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Identifikatsiya mnogoparametricheskikh, mnogokriterial'nykh tekhnologiy i puti ikh prakticheskoy realizatsii* [Multiparameter identification, multicriteria techniques and ways of

- their implementation]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metall Science and Heat Treatment of Metals]. 2013, no. 4, pp. 5–11. (in Russian).
18. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Primeneniye teoretiko-informatsionnogo podkhoda dlya identifikatsii struktury metalla* [The use of information – theoretic approach to identify the structure of the metal]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk'a State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2014, no. 8, pp. 4–9. (in Russian).
 19. Mishutn A., Kroviakov S., Pishev O. and Soldo B. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures. *Technical Journal*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 121–124.
 20. Kroviakov S. and Mishutn A. Production technology of modified expanded clay lightweight concrete for floating structures. *The Scientific Journal of Cihan University – Sulaimanyia*. 2017, vol. 1, no. 4, pp. 2–10.
 21. Dubrov Yu.I., Volchuk V.N. and Bolshakov V.I. *Primeneniye ekspertnoy informatsii pri formirovanii aktivnogo eksperimenta v materialovedenii* [Application of expert information in the formation of an active experiment in materials science]. *Modelirovanie i optimizaciya v materialovedenii : materialy 40-go mezhdunarodnogo seminara po modelirovaniyu i optimizacii kompozitov* [Modeling and optimization in materials science : mater. of the 40th Intern. Workshop on modeling and optimization of composites]. 2001, pp. 25–26. (in Russian).
 22. Bolshakov V.I., Volchuk V.N., Deyneko L.N. and Dubrov Yu.I. *Kompozitsiya metoda planirovaniya ekstremal'nykh eksperimentov i ekspertnoy informatsii dlya formirovaniya sistemy prognoza kachestva materialov* [Composition of a method for planning extreme experiments and expert information for the formation of a material quality prediction system]. *Perspektivnyye zadachi inzhenernoy nauki* [Perspective tasks of engineering science]. Dnepropetrovsk : GAUDEAMUS, 2001, iss. 2, pp. 203–208. (in Russian).

Надійшла до редакції: 10.05.2019 р.

УДК 338.266.2

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.36.461

ПЕРЕВІРКА Й АНАЛІЗ КОШТОРИСНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА ВСІХ ЕТАПАХ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т. А.^{1*}, к. т. н., доц.,

ГАЛИЧ Є. Г.², ст. виклад.,

БИЧКОВА Т. П.³, ст. виклад.

^{1*} Кафедра металевих та дерев'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-62, e-mail: str@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID : 0000-0002-0948-1299

² Кафедра обліку, економіки та управління персоналом підприємства, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-77, e-mail: galich.evgen.56@gmail.com, ORCID ID : 0000-0002-8703-9850

³ Кафедра обліку, економіки та управління персоналом підприємства, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-77, e-mail: Tanya.bychkova.58@gmail.com, ORCID ID : 0000-0003-2325-7290

Анотація. *Постановка проблеми.* Розглядаються порядок та необхідність ведення перевірки й аналізу кошторисної документації будівництва, фінансування яких планується виконувати або повністю, або частково за рахунок різних видів бюджетного фінансування. Фінансування може здійснюватись також за рахунок коштів інвесторів. Обґрунтовується необхідність робити перевірку на достовірність кошторисної вартості об'єктів капітального будівництва. *Мета статті* – висвітлення сучасної практики перевірки й аналізу кошторисної документації в будівництві. У статті висувуються кілька основних положень, що мають першочергове значення і дозволяють проводити перевірку та аналіз кошторисної вартості. *Методика.* Проаналізовано етапи перевірки інвесторської кошторисної документації, договірної ціни і взаєморозрахунків за виконані роботи. Надано черговість застосування нормативної бази, що є головним етапом під час складання та перевірки кошторисної документації. Значну увагу необхідно приділяти перевірці правильності розрахунків обсягів робіт та перевірці прив'язки відкритих розцінок за невраховані матеріали, контролювати обґрунтування правильності застосування коефіцієнтів і інше. Проведено аналіз типових помилок у розрахунках кошторисної документації на всіх етапах інвестиційного процесу. Наведено особливості перевірки кошторисної документації на нове будівництво, капітальний ремонт та реконструкцію. Особливу увагу необхідно приділяти наявності ПОР під час перевірки застосування коефіцієнтів, які повинні враховувати вплив умов виконання робіт. Визначено основні питання, які необхідно ставити на дозвіл під час перевірки та аналізу кошторисної документації. *Висновки.* Особливу увагу в ході виконання перевірки та під час аналізу виконаних розрахунків необхідно приділяти наявності інформаційних моделей кошторисної документації та надаванню документального підтвердження всіх витрат підрядника. Проведено аналіз існуючих методів перевірки вартості виконаних будівельних робіт та виділено основні методи, які можуть привести до необґрунтованого підвищення кошторисної та фактичної вартості робіт. Надано практичні рекомендації зі складання та перевірки всіх видів кошторисної документації. Наведено основні помилки, які зустрічаються під час розробки кошторисної вартості та шляхи їх запобігання.

Ключові слова: кошторисна документація; перевірка й аналіз кошторисів; типові помилки; етапи аналізу

ПРОВЕРКА И АНАЛИЗ СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЦЕССА

КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т. А.^{1*}, к. т. н., доц.,

ГАЛИЧ Е. Г.², ст. препод.,

БИЧКОВА Т. П.³, ст. препод.

^{1*} Кафедра металлических и деревянных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-62, e-mail: str@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0948-1299

² Кафедра учета, экономики и управления персоналом, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-77, e-mail: galich.evgen.56@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8703-9850

³ Кафедра учета, экономики и управления персоналом, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-77, e-mail: Tanya.bychkova.58@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2325-7290

Аннотация. Постановка проблемы. Рассматриваются порядок и необходимость проведения проверки и анализа сметной стоимости строительства, финансирование которых планируется осуществлять полностью или частично за счет различных видов бюджета или за счет средств инвесторов. Обосновывается необходимость проверки на достоверность определения сметной стоимости объектов капитального строительства. **Цель статьи** – описание современной практики проверки и анализа сметной документации в строительстве. В статье выдвигаются несколько положений, имеющих первостепенное значение для проведения проверки и анализа сметной стоимости. **Методика.** Проанализированы этапы проверки инвесторской сметной документации, договорной цены и взаиморасчетов за выполненные работы. В статье анализируется очередность применения нормативной базы как главный этап при составлении и проверке сметной документации. Значительное внимание уделяется проверке правильности расчетов объемов работ, привязке открытых расценок по неучтенным материалам, обоснованию правильности применения коэффициентов и др. Проанализированы типовые ошибки в расчетах сметной документации на всех этапах инвестиционного процесса. Рассмотрены особенности проверки сметной документации на новое строительство, капитальный ремонт, реконструкцию. Уделено особое внимание наличию ПОС при проверке правильности применения коэффициентов для учета условий производства работ. Рассматриваются основные вопросы, которые ставятся в ходе получения разрешения на строительство при проверке и анализе сметной документации. **Выводы.** Значительное внимание при проверке и анализе уделяется наличию информационных моделей сметной документации, а также документальному подтверждению всех затрат подрядчика. Проанализированы методы проверки стоимости выполненных строительных работ, выделены основные методы завышения сметной и фактической стоимости. Даны конкретные рекомендации по составлению и проверке всех видов сметной документации и путям предотвращения наиболее часто встречающихся ошибок и искажения сметной стоимости.

Ключевые слова: сметная документация; проверка и анализ смет; типичные ошибки; этапы анализа

VERIFICATION AND ANALYSIS OF BUDGET DOCUMENTATION AT ALL STAGES OF THE INVESTMENT PROCESS

KOVTUN-HORBACHOVA T.A.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
HALYCH Ye.H.², *Ass. Prof.*,
BYCHKOVA T.P.³, *Ass. Prof.*

^{1*} Department of Metal and Wooden Structures, tel. +38 (0562) 46-93-62, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: str@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0948-1299

² Department of Accounting, Economics and Personnel Management of the Enterprise, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 756-34-77, e-mail: galich.evgen.56@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8703-9850

³ Department of Accounting, Economics and Personnel Management of the Enterprise, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 756-34-77, e-mail: Tanya.bychkova.58@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2325-7290

Abstract. Problem statement. The article discusses the procedure and the necessity to audit and analyze estimated construction costs, which are fully or partially financed through various types of budget or investors. The audit of the fair estimated cost of capital construction projects is grounded and some provisions significant for the inspection and analysis of the estimated cost are provided in the article. **The purpose of the article** is to describe the modern practice of checking and analyzing budget documentation in construction. The attention is also paid to the development of technical specifications for estimate and preparation of documents. The stages of investor's estimate documentation verification, contract price and mutual settlements for the work performed are analyzed. The article considers priority of the regulatory frame work application, as the main stage in preparation and verification of the estimate documentation. **Methods.** Considerable attention is paid to the accuracy of quantity estimate with reference to unaccounted materials costs, application of correct coefficients, etc. Typical errors in calculating the estimate documentation through the investment process are examined. Verification features of the estimate documentation for new construction, major repairs and reconstruction are studied. The article focuses on PIC when checking validity coefficients to take into account the impact of working conditions. Main issues to be solved during verification and analysis of the budget documentation are considered. **Conclusions.** Availability of information models for cost estimate documentation, as well as documentary evidence of all costs of the contractor are essential in audit procedure. The ways to check the cost of construction work performed are analyzed and the main methods of overrating the estimated and original cost are emphasized. Specific recommendations on how to draw up and verify all types of estimate documentation and to prevent the most common errors and distortion of the estimated cost are given.

Keywords: estimated documentation; verification and analysis of estimates; typical errors; stage of analysis

Перевірка й аналіз кошторисної документації – найбільш відповідальний етап проектування і підготовки будівництва, реконструкції або капітального ремонту. Питання перевірки й аналізу кошторисної документації на етапі затвердження інвестиційного проекту, проведення конкурсних торгів, узгодження договірних цін і взаєморозрахунків за виконані роботи особливо актуальні в умовах обмеженого бюджету інвестора.

Перевірка кошторисної документації дозволяє проаналізувати, наскільки перспективними будуть вкладення в проект. Аналіз і перевірка кошторисів – це складний і трудомісткий процес, який вимагає від експерта відповідної професійної освіти і практичного досвіду.

Належним чином складена кошторисна документація дозволяє визначити, які етапи робіт уже виконані, які кошти витрачено на виконання робіт, скільки коштів буде потрібно для виконання наступних робіт. Кошторисне нормування і ціноутворення – багатоплановий, динамічний процес, який суттєво залежить від зміни законодавчих і правових основ економічного розвитку держави і являє собою найважливіший елемент економічних взаємин між усіма учасниками інвестиційної діяльності.

Перевірка й аналіз кошторисної документації потрібні всім учасникам інвестиційного процесу, особливо у разі проведення будівельних робіт за державні кошти.

Перевірка кошторисної документації виконується на всіх стадіях інвестиційного процесу.

Інвесторська кошторисна документація розробляється проектною організацією і її правильність і повнота залежать від багатьох чинників. Один із них – технічне завдання на розробку кошторисної документації. Відповідальний за цей документ – замовник.

Наразі в жодному нормативному документі, у тому числі і в ДБН А.2.2-3:2014 [1], немає інформації на розроблення кошторисної документації за технічним завданням. Тому саме з цього починаються

питання і проблеми в розробленні кошторисної документації.

Таблиця 1

Черговість застосування нормативної бази для розрахунків кошторисної вартості робіт / Priority of the application of the normative base for calculating the estimated cost of work

Вид будівництва	Порядок застосування нормативної бази
Нове будівництво	1. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи РЕКН (Е) – ДСТУ БД.2.2-1-47 2. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи РЕКН (ЕН) – ДСТУ БД.2.2 - 2012, 2016
Реконструкція	1. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи РЕКН (Е) – ДСТУ БД.2.2-46:2012 "Роботи при реконструкції будівель і споруд" 2. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи РЕКН (Е, ЕН) – ДСТУ БД.2.2-1-45,47,49,52,53:2012. 3. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування РЕКНмо (М) – ДСТУ БД.2.3-1 - 39:2012 4. Для окремих видів робіт можливе використання Ресурсних елементних кошторисних норм на ремонтно – будівельні роботи РЕКНр (РН) – ДСТУ БД.2.4-1 - 20:2012
Капітальний ремонт (поточний ремонт)	1. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи РЕКНр (РН) – ДСТУ БД.2.4-1 - 20:2012 2. Окремі види ремонтно-будівельних робіт, які не охоплені збірками РЕКНр, а технологія їх виконання аналогічна новому будівництву або реконструкції будинків, будівель і споруд, можуть нормуватися відповідно або після норм збірок РЕКН на нове будівництво із застосуванням до витрат праці робітників, зайнятих на ремонтно-будівельних роботах, і до годин експлуатації машин і механізмів коефіцієнта 1,15, або після норм ДСТУ БД.2.2-46:2012 і норм 9-70-1 – 9-75-2 ДСТУ БД.2.2-9:2012 без застосування вказаного коефіцієнта (ДСТУ-Н БД.2.4-21:2012 п.4.4)*.

Примітка:

* – до ресурсних елементних кошторисних норм на монтаж устаткування РЕКНмо (М) – ДСТУ Б Д.2.3-1 – 39:2012 цей коефіцієнт не застосовується.

У технічному завданні мають бути детально прописані усі дані, не вказані в доповненні до ДБН А.2.2-3:2014 (завдання на проектування. Перелік основних даних і вимог), починаючи від рівня середньомісячної заробітної плати, загальнопромислових витрат, та інша інформація, необхідна для розроблення кошторисної документації.

На першому етапі аналіз кошторисної документації починається з перевірки правильності застосування нормативної бази для розрахунку. Черговість застосування нормативної бази залежить від виду будівництва – нове будівництво, реконструкція, технічне переоснащення, капітальний ремонт, поточний ремонт. Вид будівництва обов'язково прописується в найменуванні проекту. На цьому етапі перевіряється правильність застосування одиничних розцінок для всіх видів робіт.

На наступному етапі аналіз інвесторської кошторисної документації включає перевірку в локальних кошторисах:

- правильність розрахунків обсягів робіт;
- прив'язки відкритих розцінок по неврахованих матеріалах;
- обґрунтування і правильність застосування коефіцієнтів;
- дублювальні розцінки і роботи (виключення дублювальних розцінок і робіт);
- ресурси (чи не змінював підрядник норми РЕКН).

Виконується:

- порівняння складу робіт, внесених у кошторис, із переліком необхідних робіт;
- аналіз доцільності передбачених кошторисами робіт;
- порівняння кошторисних значень із даними проекту.

Для цієї перевірки необхідно мати інформаційну модель кошторисної документації (IMS). При цьому норма по РЕКН є константою. Витрати праці робітників - будівельників не змінюються. Година роботи машин і механізмів може змінюватися відповідно до ДСТУ-Н Б.Д.1.1-2:2013 п. 6.2.1.5. Норма витрати матеріалів не змінюється. Виняток становлять витрати арматури для монолітних ЗБК, які уточнюються і приймаються за проектом.

Якщо через об'єктивні причини виникає необхідність замінити будь-які матеріальні ресурси, передбачені державними (галузовими) ресурсними елементними кошторисними нормами, на інші матеріальні

ресурси, і це викликає зміни технології виконання робіт і показників цих норм, необхідно розробляти і затверджувати їх в установленому порядку через індивідуальні ресурсні елементні кошторисні норми.

У разі, якщо за такої заміни матеріальних ресурсів, технологія виконання робіт і показники цих норм (окрім витрати змінених матеріальних ресурсів) не змінюються, вартість будівельних робіт визначається за тими ж ресурсними елементними кошторисними нормами із заміненіми матеріальними ресурсами. Витрати матеріальних ресурсів, які замінені, приймаються відповідно до п.7.2.5 ДСТУ-Н БД. 1.1-6"[2].

На другому етапі необхідно виконати перевірку норм витрати матеріалів, виробів і конструкцій.

Під час цієї перевірки необхідно особливу увагу приділяти нормі витрати з прив'язкою відкритих розцінок до неврахованих матеріалів. Загальна кількість неврахованих матеріалів розраховується множенням норми витрат на обсяг робіт за розцінкою.

У разі створення позицій нових ресурсів, відсутніх у НСІ (створення позицій НСІ користувача), слід звернути особливу увагу на те, що, змінюючи одиницю виміру по новому матеріальному ресурсу, обов'язково необхідно коригувати його масу.

Коригування маси у випадку, якщо одиниця виміру залишається старою, можливе, якщо змінюється маса матеріального ресурсу (наприклад, для створення керамічної цегли 250 × 120 × 88, яка відсутня в стандарті НСІ). Коригування маси необхідно виконувати відповідно до ГОСТів і ДСТУ.

Складаючи кошторисну документацію, необхідно поводити аналіз і обґрунтування правильності застосування коефіцієнтів.

Усі коефіцієнти, які використовуються в розрахунках кошторисної документації, умовно можна поділити на групи:

1. Коефіцієнти для обліку впливу умов виробництва робіт, передбачених проектом.
2. Коефіцієнти демонтажу конструкцій.

3. Коефіцієнт переходу від РЕКН до РЕКНр.

4. Коефіцієнти на реконструкцію будівель і споруд.

5. Коефіцієнти технічних частин, вступних вказівок збірок РЕКН.

Коефіцієнти для обліку впливу умов виконання робіт, передбачених проектом, і коефіцієнти для реконструкції будівель і споруд, мають бути обов'язково передбачені в проекті організації будівництва (ПОБ), реконструкції (ПР), капітального ремонту (ПОКР). Якщо дана операція не буде виконана, ці коефіцієнти будуть зняті під час перевірки органами контролю як не обґрунтовані.

Необхідно звернути увагу замовника, що, приймаючи проектну документацію від проектною організації, необхідно контролювати наявність проектів ПОБ, ПР, ПОКР. Підрядник, розробляючи тендерну пропозицію і розраховуючи договірну ціну, повинен домагатися наявності проектів ПОБ, ПР, ПОКР.

Для визначення вартості окремих видів капітальних ремонтів (поліпшення експлуатаційних показників, уведених в експлуатацію у встановленому порядку об'єктів будівництва) кошторисна документація складається за дефектним актом. У дефектному акті визначаються фізичні обсяги робіт та умови їх виконання [3]. У дефектному акті в умовах виконання робіт обов'язково вказується коефіцієнт для обліку впливу умов виконання робіт.

На третьому етапі перевірки виконується аналіз усіх непрямих витрат (загальновиробничі витрати, витрати на тимчасові будівлі і споруди, сезонні дорожчання та інші витрати, включаючи ПДВ) на відповідність технічному завданню замовника і відповідно до чинного законодавства.

У процесі перевірки і проведення аналізу тендерної пропозиції підрядника та його договірної ціни, окрім трьох попередніх етапів, слід звернути особливу увагу на вартість матеріально-технічних ресурсів. Проектувальник не «утруднює» себе розрахунками фактичної вартості

матеріалів, виробів і конструкцій, а також розрахунками вартості експлуатації машин і механізмів. Ці ресурси на стадії інвесторської кошторисної документації приймаються, як правило, за усередненими показниками. Підрядник повинен обов'язково виконати перерахунок вартості матеріально-технічних ресурсів за реальними (середньорегіональними) цінами.

Необхідно звернути увагу, що вартість експлуатації машин і механізмів буде залежати від того, чи є машини власністю виконавця робіт, чи вони орендовані. Якщо машини і механізми власні – підрядник повинен надати розрахунки вартості однієї машино-години відповідно до ДСТУ-Н Б. Д.1.1-4:2013.

«У цьому випадку при обчисленні загальновиробничих та адміністративних витрат, а також прибутку в цілому по будові та трудовитрати робітників, зайнятих на керуванні та обслуговуванні цієї будівельної техніки, не враховуються» [2].

Під час взаєморозрахунків за обсягами виконаних робіт, окрім вищеперерахованих етапів перевірки, слід звернути особливу увагу на перевірку документального підтвердження усіх витрат підрядника відповідно до умов договору підряду. Перевірка й аналіз кошторисної документації дозволяють розробити оптимальну кошторисну документацію відповідно до нормативних документів.

Аналіз і перевірка кошторисів – складний і трудомісткий процес, що вимагає від експерта відповідної професійної освіти і практичного досвіду. Для цього необхідні:

- підвищення кваліфікації кошторисників;
- уведення освітньої програми з підготовки бакалаврів за напрямом «Кошторисна справа і ціноутворення в будівництві»;
- підготовка технічного завдання на розроблення кошторисної документації;
- удосконалення нормативної бази на роботи, що виконуються із застосуванням нових технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво». – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 33 с. – Режим доступу : http://www.afo.com.ua/doc/DBN_A.2.2-3-2014.pdf
2. ДСТУ-Н Б Д.1.1-2:2013 «Настанова щодо визначення прямих витрат у вартості будівництва» (зі зміною № 1). – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 21 с. – Режим доступу : https://msmeta.com.ua/file/dbn_norma/DSTU/DSTU-N_B_D.1.1-2_2013.pdf
3. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 «Правила визначення вартості будівництва» (з доповненнями та змінами). – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 88 с. – Режим доступу : https://dbn.at.ua/ld/11/1113_1.1-1-2013.pdf

REFERENCES

1. *DBN A.2.2-3:2014 Sklad ta zmist proektnoi dokumentatsii na budivnytstvo* [DBN A.2.2-3: 2014 "Composition and contents of the design documentation for construction"]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2013, 33 p. (in Ukraine).
2. *DSTU-N B D.1.1-2:2013 Nastanova shchodo vyznachennia pryamykh vytrat u vartosti budivnytstva* (zi zminoiu no.1) [DSTU-N B D.1.1-2: 2013 "Guidelines for the determination of direct costs in construction costs (with the change No. 1)"]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2013, 21 p. (in Ukraine).
3. *DSTU B D.1.1-1:2013 Pravylo vyznachennia vartosti budivnytstva (z dopovnenniamy ta zminamy)* [DSTU B D.1.1-1: 2013 "Rules for determining the cost of construction" (with additions and changes)]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2013, 88 p. (in Ukraine).

Надійшла до редакції: 13.05.2019 р.

УДК 624.138.23

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.42.462

КОНСТРУКЦІ З ГРУНТОЦЕМЕНТУ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

КИРІЧЕК Ю. О.¹, *д. т. н., проф.*,
КОМИССАРОВ Г. В.^{2*}, *асист.*

¹ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: yakirichek@gmail.com.

^{2*} Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: kongv91@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6702-5083

Анотація. Територія України характеризується складними інженерно-геологічними умовами: слабкими, структурно-нестійкими ґрунтами, лесовими просадковими суглинками і супісками, в щільній міській забудові часто доводиться стикатись із пливунами, схилами, що спричинює подорожчання зведення будівель і споруд через додаткові витрати на підготовку основ та зведення фундаментів. Смолизація, бітумізація, силікатизація – це агресивні методи закріплення ґрунтів основи, більш екологічне використання цементу. Змішування місцевих ґрунтів із цементом, вапном, гіпсом, шлаками і з введінням різних добавок дозволяє отримати матеріал – ґрунтоцемент, який останнім часом широко використовується для підготовки основ під фундаменти, зведення фундаментів, а також для виконання різних геотехнічних завдань. Підготовка основ під фундаменти під час зведення будівель і споруд на слабких, структурно-нестійких ґрунтах (просідних ґрунтах I типу просідання, насипних, заторфованих, текучих пілувато-глинистих), як правило, конструктивно виконується армуванням ґрунту вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами з достатньо високим відсотком вмісту цементу. Такі рішення приймаються на основі технічних характеристик будівельної техніки, поширеної в нашій країні, а також проектних вимог, при цьому закріплення ґрунтової товщі основи виконується на досить велику глибину. Досліджено раціональність застосування ґрунтоцементних конструкцій з низьким вмістом цементу в слабких, водонасичених та лесових ґрунтах I типу просідання. Застосування сучасних механізмів і обладнання для виготовлення ґрунтоцементних елементів дає можливість використовувати конструктивні схеми з меншою витратою цементу для зведення фундаментів будівель та споруд. У разі зменшення кількості цементу підвищується деформованість і тріщиностійкість ґрунтоцементу, в результаті він уже не може розглядатися як елемент конструкції фундаменту, але може ефективно використовуватися як штучна основа фундаментів будівель. Числовими методами розрахунку встановлено вплив параметрів ґрунтоцементу на роботу системи «споруда – фундамент – ґрунтоцементна основа».

Ключові слова: *ґрунтоцемент; об'ємне закріплення ґрунтів; різально-змішувальний метод; ґрунтоцементні основи; деформації ґрунту*

ГРУНТОЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

КИРИЧЕК Ю. А.¹, *д. т. н., проф.*,
КОМИССАРОВ Г. В.^{2*}, *ассист.*

¹ Кафедра автомобильных дорог, геодезии и землеустройства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: yakirichek@gmail.com.

^{2*} Кафедра автомобильных дорог, геодезии и землеустройства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: kongv91@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6702-5083

Аннотация. Территория Украины характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями: слабыми, структурно-неустойчивыми ґрунтами, лесовыми просадочными суглинками и супесями, в плотной городской застройке часто приходится сталкиваться с пливунами, склонами, что приводит к удорожанию строительства зданий и сооружений из-за дополнительных затрат на подготовку оснований и возведения фундаментов. Смолизація, бітумізація, силікатизація являються агресивними методами закріплення ґрунтов основания, более екологічен в использовании цемент. Смешивание местного ґрунта с цементом, известью, гипсом, шлаками с введением различных добавок позволяет получить материал – ґрунтоцемент,

который в последнее время широко используется при подготовке оснований под фундаменты, возведении фундаментов, а также при решении различных геотехнических задач. Подготовка оснований под фундаменты при возведении зданий и сооружений на слабых, структурно-неустойчивых грунтах (просадочных грунтах I типа просадки, насыпных, заторфованных, текучих пылевато-глинистых грунтах) обычно конструктивно выполняется армированием грунта вертикальными жесткими грунтоцементными элементами с достаточно высоким процентом содержания цемента. Такие решения принимаются на основе технических характеристик строительной техники, распространенной в нашей стране, а также проектных требований, при этом закрепление грунтовой толщи основания выполняется на достаточно большую глубину. Исследована рациональность применения грунтоцементных конструкций с низким содержанием цемента, в слабых, водонасыщенных и лессовых грунтах I типа просадочности. Применение современных механизмов и оборудования при изготовлении грунтоцементных элементов дает возможность использовать конструктивные схемы с меньшим расходом цемента при возведении фундаментов зданий и сооружений. При уменьшении количества цемента повышается деформируемость и трещиностойкость грунтоцемента, в результате он уже не может рассматриваться в качестве элемента конструкции фундамента, но может эффективно использоваться в качестве искусственного основания фундаментов зданий. Численными методами расчета установлено влияние параметров грунтоцемента на работу системы «сооружение – фундамент – грунтоцементное основание».

Ключевые слова: *грунтоцемент; объемное закрепление грунтов; режущее-смешивающий метод; грунтоцементные основания; деформации грунта*

SOIL-CEMENT STRUCTURES AT THE ERECTION OF FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

KIRICHECK Yu.O.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KOMISSAROV H.V.^{2*}, *Assist.*

¹ Department of Highways, Geodesy and Land Management, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 746-38-88

^{2*} Department of Highways, Geodesy and Land Management, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 746-38-88, e-mail: komgv91@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6702-5083

Abstract. The territory of Ukraine is characterized by complex engineering and geological conditions: soft, structurally unstable soils, loess subsidence loams and sandy loams, in dense urban development often have to deal with quaff, slopes, which leads to higher prices for the construction of buildings and structures due to the additional cost of preparing the grounds and foundation construction. Tarring, bituminization, silicization are aggressive methods for grouting, cement is more environmentally friendly. Mixing local soil with cement, lime, gypsum, slags and with the introduction of various additives allows to obtain material – soil cement, which has recently been widely used in footing and foundations as well as in solving various geotechnical problems. Preparation of footing in the construction of buildings and structures on soft, structurally unstable soils (subsidence soils of type I subsidence, bulk, ground, flowing silt-loam soils) is usually constructively performed by reinforcing the soil with vertical rigid soil-cement elements with high percentage of cement content. Such solutions are made on the basis of the technical characteristics of common construction equipment in our country, as well as design requirements while securing the grouting is carried out to a sufficiently large depth. Investigation of the rationality of the application of soil-cement structures with lower cement content in soft, water-saturated and loess soils of type I subsidence. The use of modern mechanisms and equipment in the manufacture of cement elements makes it possible to use structure, with less content cement in the construction of foundations of buildings and structures. With a decrease in the content of cement, the deformability and crack resistance of soil cement increase, as a result, it can no longer be considered as a structural element of the foundation, it can be effectively used as an artificial footing for building foundations. Numerical methods of calculation established the influence of soil cement parameters on the operation of the system “structure-foundation-soil cement footing”.

Keywords: *soil-cement; mass soil stabilization; cutting-mixing method; soil-cement foundation; deformation of soil*

Постановка проблеми. Територія України характеризується складними інженерно-геологічними умовами: слабкими, структурно-несійкими грунтами, лесовими просадковими

суглинками і супісками, в щільній міській забудові часто доводиться стикатись із пливунами, схилами, що спричинює подорожчання зведення будівель і споруд через додаткові витрати на підготовку

основ та зведення фундаментів. Смолизація, бітумізація, силікатизація – це агресивні методи закріплення, підсилення ґрунтів основи, більш екологічне використання цементу. Змішування місцевих ґрунтів із цементом, вапном, гіпсом, шлаками і з уведенням різних добавок дозволяє отримати матеріал – ґрунтоцемент, який останнім часом широко використовується для підготовки основ під фундаменти, зведення фундаментів, а також для виконання різних геотехнічних завдань.

Підготовка основ під фундаменти для зведення будівель і споруд на слабких, структурно-нестійких ґрунтах (просадкових ґрунтах I типу просідання, насипних, заторфованих, текучих пилювато-глинистих ґрунтах), як правило, конструктивно виконується армуванням ґрунту вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами з достатньо високим вмістом цементу. Такі рішення приймаються на основі технічних характеристик будівельної техніки, поширеної в нашій країні, а також проектних вимог, при цьому закріплення ґрунтової товщі основи виконується на досить велику глибину.

Аналіз публікацій. Ґрунтоцементні елементи виконуються двома методами: вологого і сухого змішування ґрунту, вибір яких залежить від ґрунтових умов і специфікації проекту. Метод вологого змішування ґрунту застосовується в різних ґрунтових умовах: від слабких пластичних глин до середньої щільності піску і гравію з включеннями кругляків. Метод сухого змішування застосовується в ґрунтах із достатнім вмістом вологи, щоб забезпечити фізико-хімічну реакцію сухого в'язучого з ґрунтом, отож цей метод дозволяє зменшити вміст води у ґрунті.

З метою ресурсозбереження та завдяки розвитку нових методів улаштування ґрунтоцементні конструкції все більше набирають популярності в фундаментобудуванні. Це:

- улаштування набивних паль бурозмішувальним методом, струменевою цементациєю, струменево-змішувальною цементациєю;

- улаштування підпірних стін котлованів. Для кріплення вертикальних стін котлованів і захисту існуючих фундаментів від будівництва використовуються, як правило, гнучкі огорожувальні конструкції з січних і дотичних паль, які в оголовках об'єднані залізобетонним поясом та фіксовані анкерами. Огорожувальні конструкції проектують на дію горизонтального навантаження від тиску ґрунту і підземних вод, а також за необхідності на вертикально прикладене до поверхні ґрунту навантаження поблизу огорожі. До огорожувальних конструкцій пред'являються особливі вимоги щодо міцності матеріалу ґрунтоцементних елементів і герметичності їх стиків [8; 10];

- улаштування ґрунтоцементних анкерів;

- улаштування фундаментів мілкового закладення. Улаштування стрічкових і пальових фундаментів із ґрунтоцементу рекомендується для будинків не більше трьох поверхів із несними стінами III класу відповідальності, а також для будівель II класу відповідальності висотою до двох поверхів включно. Будівництво стрічкових ґрунтоцементних фундаментів заборонене в сейсмічних і карстових районах, а також на підроблюваних територіях, вічно мерзлих і не відталих після сезонного промерзання ґрунтах, заторфованих, набряклих і просадкових ґрунтах II типу [3; 4];

- улаштування протифільтраційних завіс. За конструктивними особливостями протифільтраційні завіси можуть бути вертикальними і горизонтальними. Товщина протифільтраційних завіс перебуває в діапазоні 0,5...2 м і залежить від фільтраційної міцності, міцності ґрунтоцементу, градієнта напору [2; 10];

- улаштування бурових шламових амбарів, штучних водойм, басейнів, резервуарів;

– зміцнення зсувонебезпечних схилів;
 – підсилення основи існуючих фундаментів похилими та вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ). Але у випадках реконструкції будівель і споруд, у стиснених умовах доцільно закріплювати ґрунт горизонтальними ґрунтоцементними елементами на незначній глибині безпосередньо під фундаментом у зоні активних деформацій основи [7];
 – улаштування роздільних екранів для захисту фундаментів споруд від впливу нового будівництва;

– закріплення масиву ґрунту від розрідження за сейсмічних навантажень;
 – улаштування дорожнього полотна;
 – улаштування залізничних насипів;
 – поліпшення будівельних властивостей торф'яних, лесових ґрунтів, насипних, слабких ґрунтів ($E < 5$ МПа);
 – закріплення ґрунтів;
 – захист підземних виробок у процесі виконання різних інженерно-технічних завдань;
 – армування основи фундаментів.

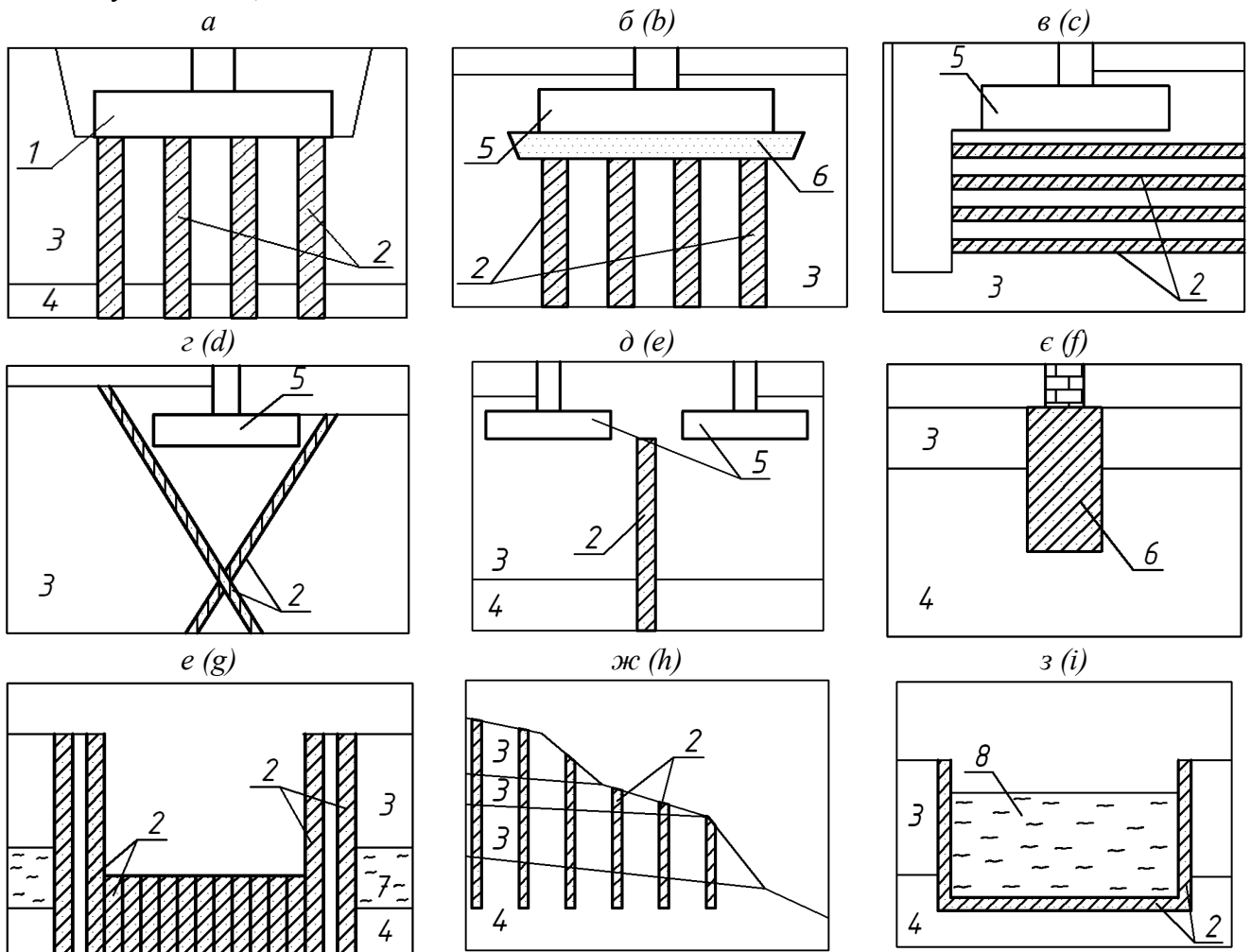


Рис. 1. Використання ґрунтоцементу в геотехніці: а, б – пальові фундаменти; підсилення існуючих фундаментів: вертикальними ГЦЕ; в – горизонтальними ГЦЕ; г – похилими ГЦЕ; д – улаштування роздільних екранів; е – улаштування фундаментів мілко закладення під малоповерхові будівлі; г – закріплення укосів котловану і захист від ґрунтових вод; ж – закріплення нестійких укосів і схилів; з – улаштування резервуарів: 1 – ростверк; 2 – ґрунтоцементні елементи; 3 – слабкий ґрунт; 4 – міцний ґрунт; 5 – фундамент; 6 – стрічковий фундамент з ґрунтоцементу; 7 – водонасичений ґрунт; 8 – рідина резервуарів / Fig. 1. The using of soil cement in geotechnics: a, b – pile foundations; enhancement of existing foundations: vertical SCE; c – horizontal SCE; d – inclined SCE; e – arrangement of separate screens; f – arrangement of foundations of shallow laying under low-rise buildings; g – fixing of slopes of a pit and protection from ground waters; h – fixing unstable slopes and slopes; i – arrangement of reservoirs: 1 – rafters; 2 – ground cement elements; 3 – weak soil; 4 – strong soil; 5 – the foundation; 6 – tape foundation from the soil cement; 7 – water-saturated soil; 8 – liquid reservoirs

Закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами можливе різними конструктивними рішеннями. Це улаштування окремо розташованих ґрунтоцементних паль циліндричного

перетину, панелей, сіток, блоків з окремо розташованих паль, січних паль або суцільних елементів, які влаштовуються «різально-змішувальним» методом [6; 9].

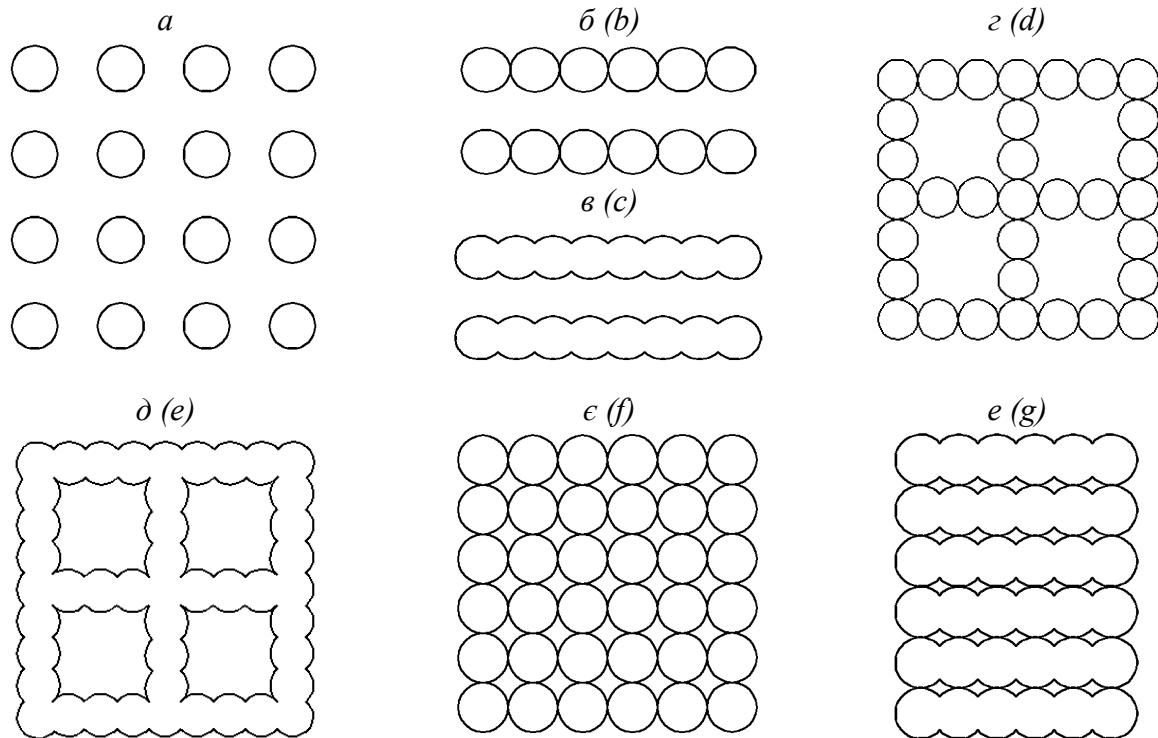


Рис. 2. Конструктивні рішення закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами: а – окремо розташовані ГЦЕ; б, в – панелі з ГЦЕ; г, д – сітки з ГЦЕ; е, е – блоки з ГЦЕ / Fig. 2. Structural solutions of consolidation of soil with soil cement elements: a – separate SCE; b, c – panels with SCE; d, e – grids with SCE; f, g – blocks with SCE

Широко застосовуються три методи закріплення ґрунту цементом: бурозмішувальний метод, струменева цементация, струменево-змішувальна цементация. Найбільш поширений в нашій країні бурозмішувальний метод – завдяки простоті механізмів для його реалізації. Його суть полягає в механічній розробці і перемішуванні ґрунту з в'язучим, яке подається у вигляді розчину.

Перемішування ґрунту з в'язучим, як правило, відбувається в робочій свердловині (без виймання ґрунту), але також може виконуватися із частковим вийманням або в спеціальних бункерах – змішувачах. Перевага цього методу – в економії в'язучого, постійний перетин ґрунтоцементного елемента відповідно до

діаметра застосованого робочого шнека. Недолік – у гравелистих ґрунтах необхідне громіздке обладнання з великими обертовими моментами [4–6; 12].

Метод струменевої цементации поділяється на три види: однокомпонентна цементация (Jet 1), двокомпонентна цементация (Jet 2), трикомпонентна цементация (Jet 3). У методі однокомпонентної цементации (Jet 1) розробка ґрунту відбувається за рахунок енергії струменя цементного розчину. Робочим інструментом для улаштування ґрунтоцементних елементів постає струменевий монітор, із форсунок якого виходить струмінь цементного розчину під тиском до 70 МПа.

Висконапірний струмінь цементного розчину може різати практично будь-який ґрунт. Діаметр ґрунтоцементних елементів 350...700 мм.

Для збільшення радіуса різання ґрунту і руйнівної дії в двокомпонентній цементації (Jet 2) додатково використовується енергія стисненого повітря. Струменевий монітор обладнаний двома форсунками, одна з яких служить для подачі цементного розчину, а друга – для подачі стисненого повітря під тиском 0,6...1,2 МПа. Міцність і щільність ґрунтоцементних елементів порівняно з однокомпонентною технологією знижується, діаметр досягає – 1 500 мм. У трикомпонентному методі (Jet 3) струменевий монітор обладнаний трьома форсунками, які служать для роздільної подачі в'язучого, води і повітря. Руйнування ґрунту проводиться висконапірним струменем води під тиском 20...30 МПа і повітряним потоком, а цементний розчин подається окремим струменем. Діаметр ґрунтоцементних елементів 1 300...2 500 мм [1; 8; 11]. Перевага такого методу висока продуктивність і можливість застосування практично в будь-яких ґрунтах. Недолік – висока витрата цементу.

Струменево-змішувальна цементація – це комбінований метод струменевої і бурозмішувальної цементації, коли одночасно використовується механічна та гідромоніторна розробка ґрунту, що, у свою чергу, сприяє досягненню більшої однорідності суміші і збільшенню діаметра ґрунтоцементного елемента. Перевага методу – можливість використання в будь-яких ґрунтових умовах; універсальність, у разі зменшення тиску струменя гідромонітора метод працює як бурозмішувальний [4; 9].

Для улаштування огорожувальних конструкцій і фундаменту «стіна в ґрунті» був розроблений різально-змішувальний метод. Робочими органами служать різальні кільця або ланцюгова фреза, які вертикально обертаються відносно

горизонтальної осі. За такого методу влаштовують безперервні ґрунтоцементні панелі товщиною, рівною товщині робочих органів.

Принципову відмінність має місце об'ємного закріплення, коли обробці піддається весь масив ґрунту. Об'ємне закріплення ґрунту "Mass Stabilization" – відносно новий метод поліпшення будівельних властивостей слабких ґрунтів, який може виконуватися на глибину 5...7 м, захватками 10...25 м². Діаметр робочого інструменту становить 0,6...0,8 м.

У цьому випадку в'язуче переважно використовується у вигляді сухих порошкових сумішей, але також може бути вигляді розчину і складатися з одного компонента: вапно, цемент, шлак або їх комбінації.

Процес перемішування відрізняється від інших методів тим, що в'язучий матеріал подається в область змішування, в той час як міксер обертається й одночасно переміщується у вертикальній та горизонтальних площинах, щоб забезпечити оптимальне перемішування ґрунту [10; 12].

Мета статті – дослідження раціональності застосування ґрунтоцементних конструкцій з низьким вмістом цементу в слабких, водонасичених та лесових ґрунтах I типу просідання.

Виклад матеріалу. Використання механізмів методом об'ємного закріплення ґрунту "Mass Stabilization" і механізмів, обладнаних різально-змішувальними робочими органами (методи "Cutter Soil Mixing", "Cut-Mix-Injection") в просадкових ґрунтах I типу, а також за наявності невеликої потужності шару слабких насипних або структурно-нестійких ґрунтів дає можливість отримати конструкції фундаменту й основ із меншим вмістом цементу.

Для влаштування щілинного фундаменту основними характеристиками ґрунтоцементу постають міцність на стиск R (МПа), E_0 – модуль деформації (МПа), у разі замочування потрібно враховувати

можливість впливу негативного тертя по бічних гранях, що, у свою чергу, викликає додаткове навантаження.

Зі зменшенням кількості цементу в суміші зменшується кількість кристалізаційних зв'язків у ґрунтоцементі і підвищується його деформованість і тріщиностійкість. Для влаштування штучних ґрунтоцементних основ головними критеріями стають достатня міцність і рівномірна стисливість по всій площі основи.

Теоретичні дослідження показали, що витрата цементу на 1 м³ оброблюваного ґрунту складає 40...125 кг [3]. Основні характеристики ґрунтоцементу: щільність (г/см³); E – модуль деформації (МПа);

φ – кут внутрішнього тертя (град.);
 c – питоме зчеплення (кПа).

Числові дослідження в програмному комплексі Plaxis роботи системи «споруда – фундамент – ґрунтоцементна основа» показали раціональність використання ґрунтоцементу з низьким відсотком вмісту цементу у підготовці основ під фундаменти будівель та споруд. При цьому значно зменшується осідання моделі фундаменту та збільшується граничний тиск на штучну основу. Можливість пошарово змінювати кількість цементу в складі ґрунтоцементної основи від подошви до поверхні дає можливість варіювати параметрами основи і досягти більшої економії цементу.

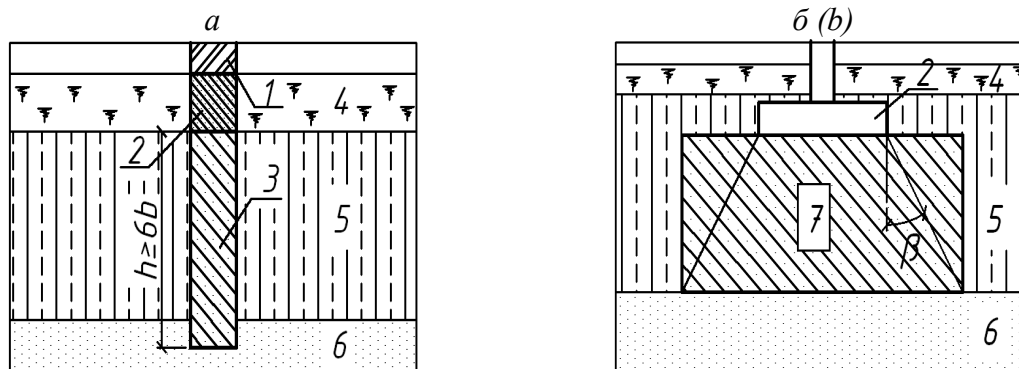


Рис. 3. Конструктивні рішення використання ґрунтоцементних конструкцій у слабких, структурно нестійких ґрунтах: а – влаштування щілиного фундаменту; б – закріплення масиву ґрунту; 1 – конструкція цоколя будівлі; 2 – конструкція фундаменту; 3 – конструкція щілиного фундаменту з ґрунтоцементу; 4 – ґрунтово-рослинний шар; 5 – слабкий структурно-нестійкий ґрунт; 6 – міцний ґрунт; 7 – ґрунтоцементні підстави / Fig. 3. Constructive solutions of the use of soil cement constructions in weak, structurally unstable soils: a – arrangement of slit basement; b – consolidation of the soil array; 1 – construction of the base of the building; 2 – construction of the foundation; 3 – construction of a slit foundation from a ground cement; 4 – soil-vegetative layer; 5 – weak structurally unstable soil; 6 – strong soil; 7 – ground cement grounds

Висновок. Застосування механізмів для об'ємного закріплення ґрунту, а також «різально-змішувальних» механізмів і обладнання для виготовлення ґрунтоцементних елементів дає можливість використовувати конструктивні схеми з меншою витратою цементу в зведенні фундаментів будівель та споруд. У разі зменшення кількості цементу підвищується деформованість і тріщиностійкість ґрунтоцементу, в результаті він уже не

може розглядатися як елемент конструкції фундаменту, але може ефективно використовуватися як штучна основа фундаментів будівель.

Числовими методами розрахунку встановлено вплив параметрів ґрунтоцементу на роботу системи «споруда–фундамент–ґрунтоцементна основа».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Временные рекомендации по технологии строительства цементогрунтовых ленточных фундаментов с применением шнекофрезерных грунтосмесительных машин: рекомендации / Разраб. под руков. А. Н. Токина. – Киев : НИИСП, 1981. – 47с.
2. Зоценко М. Л. Грунтоцемент – конструктивний і гідроізоляційний матеріал при будівництві підземних споруд / М. Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – Київ : ДП НДІБК, 2016. – Вип. 83, кн. 2. – С. 296–316.
3. Киричек Ю. А. Анализ области применения грунтоцемента в геотехнике / Ю. А. Киричек, Г. В. Комиссаров // Будівельні конструкції. – Київ : ДП НДІБК, 2016. – Вип. 83, кн. 1. – С. 529–538.
4. Киричек Ю. А. Методы устройства искусственных оснований из грунтоцемента под фундаменты мелкого заложения / Ю. А. Киричек, Г. В. Комиссаров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 7. – С. 15–19.
5. Зоценко Н. Л. Контроль за якістю грунтоцементних елементів, які виготовлені за бурозмішувальною технологією / Н. Л. Зоценко, Р. В. Петраш, О. В. Петраш // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2010. – Вип. 56. – С. 188–193.
6. Крысан В. И. Практика закрепления грунтов по струйно-смесительной технологии / В. И. Крысан, В. В. Крысан // Геотехника Беларуси: наука и техника : межд. науч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 171–177.
7. Нечаев К. В. Горизонтальное армирование грунтов в основании здания корпуса неотложной хирургии железнодорожной больницы г. Донецка при ее реконструкции / К. В. Нечаев, А. О. Исмагилов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 141. – С. 205–211.7
8. Маковецкий О. О. Проектирование ограждений котлованов из буро секущих грунтоцементных элементов / О. О. Маковецкий, К. А., Миллер, В. В. Галимов // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3(38). – Т2. – С. 228–233.
9. Новицкий О. П. Методы закрепления грунтов цементом / О. П. Новицкий // Вісник Донецької Національної Академії Будівництва і Архітектури. – Полтава : ДНАБіА, 2013. – Вип. 3(101). – С. 32–37.
10. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. акад. РААСН, В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 728 с.
11. Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из грунтоцемента для опытного строительства малоэтажных сельских зданий: рекомендации / Разраб. под руков. Б. А. Ржаницына. – Москва : НИИОСП им. Герсеванова, 1983. – 41 с.
12. Deep Soil Mixing (DSM). Improvement of weak soils by the DSM method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kellerholding.com>.

REFERENCES

1. *Vremennyye rekomendatsii po tekhnologii stroitel'stva tsementogruntovykh lentochnykh fundamentov s primeneniym shnekofrezernykh gruntosmesitel'nykh mashin: rekomendatsii* [Temporary recommendations on the construction technology of cement and ground foundations using screw milling soil-mixing machines]. Developed under the direction of A. N. Tokin. Kyiv : NIISP, 1981, 47 p. (in Russian).
2. Zotsenko M.L. *Gruntotsement – konstruktyvnyy i hidroizolyatsiynyy material pry budivnytstvi pidzemnykh sporud* [Soil-sement – structural and waterproofing material in the construction of underground structures]. *Budivelni konstruksii: zb. nauk. prats* [Building constructions: coll. of scient. works]. Kyiv : DP NDIBK, 2016, vyp. 83, b. 2, pp. 296–316. (in Ukrainian).
3. Kyrychek Yu.A. and Komissarov G.V. *Analyz oblasti prymenenyya hruntotsementa v heotekhnike* [Analysis of soil-cement application in geotechnics]. *Budivelni konstruksii: zb. nauk. Prats* [Building constructions : coll. of scient. works]. Kyiv : DP NDIBK, 2016, vyp. 83, b. 1, pp. 529–538. (in Russian).
4. Kyrychek Yu.A. and Komyssarov G.V. *Metody ustroystva yskusstvennykh osnovanyy yz hruntotsementa pod fundamenty melkoho zalozheniya* [Methods for constructing artificial footing from ground cement for shallow foundations]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Pyidniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture], 2014, no. 7, pp. 15–19. (in Russian).
5. Zotsenko N.L., Petrash R.V. and Petrash O.V. *Kontrol' za yakistyu hruntotsementnykh elementiv, yaki vyhotovleni za burozmishuval'noyu tekhnolohiye*. [Control over the quality of the cementitious elements, which are made according to the mixing technology]. *Stroitelstvo. Materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Dnipropetrovsk : PSACEA, 2010, vyp. 56, pp. 188–193. (in Ukrainian).
6. Krysan V.I. and Krysan V.V. *Praktika zakrepleniya gruntov po struyno-smesitel'noy tekhnologii* [The practice of soil consolidation by jet-mixing technology]. *Geotekhnika Belarusi: nauka i tekhnika : mezhdunar. nauchno-tekhnicheskaya konferentsiy*. [Geotechnics of Belarus: Science and Technology : Intern. scient. and techn. conf.]. Minsk : BNTU, 2013, pp. 171–177. (in Russian).

7. Nechayev K.V. and Ismagilov A.O. *Gorizontol'noye armirovaniye gruntov v osnovanii zdaniya korpusa neotlozhnoy khirurgii zheleznodorozhnoy bol'nitsy g. Donetska pri yeye rekonstruktsii* [Horizontal reinforcement of soils at the fottig of the building of the emergency surgery building of the Donetsk railway hospital during its reconstruction]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Collection of scientific works of UkrDAZT]. 2013, vol. 141, pp. 205–211. (in Russian).
8. Makovetsky O.O., Myller K.A. and Halymov V.V. *Proektyrovanye ohrashdenyy kotlovanov yz burosekushchykh hruntotsementnykh elementov* [Designing fencing pits of buroseuse soil-cement elements]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Yurii Kondratiuka* [Collection of scientific works of Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk]. Poltava : PoltNTU, 2013, iss. 3 (38), vol. 2, pp. 228–233. (in Russian).
9. Novyts'ky O.P. *Metody zakriplennya hruntiv tsementom* [Methods of fixing the soil with cement]. *Visnyk Donetskoï Natsionalnoï Akademii Budivnytstva i Arkhitektury* [Bulletin of Donetsk National Academy of Building and Architecture Series]. Poltava : DNABIA, 2013, iss. 3 (101), pp. 32–37. (in Ukrainian).
10. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnyye sooruzheniya* [Reference geotechnical. Foundations, foundations and underground structures] Under total edition of Acad. of RAACS V.A. Illichev and R.A. Mangusheva. Moscow : Publishing House DIA, 2014, 728 p. (in Russian).
11. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystvu fundamentov iz gruntotsementa dlya opytnogo stroitelstva maloetazhnykh selskikh zdaniy* [Recommendations for the design and installation of foundations of ground cement for the pilot construction of low-rise rural buildings]. Developed under the guidance B.A. Rzhanytsyn. Moscow : SRIOCP named Gersevanov, 1983, 41 p. (in Russian).
12. Deep Soil Mixing (DSM). Improvement of weak soils by the DSM method [Electronic resource].

Надійшла до редакції : 26.05.019 р.

УДК 624.131.54

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.51.463

ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСНОВ ЗА ДОВГОТРИВАЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ

КІРІЧЕК Ю. О.¹, *д. т. н., проф.*,

КОНИК В. С.^{2*}, *асист.*

¹ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: yakirichек@gmail.com

^{2*} Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: konikviktoriya7@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7717-5210

Анотація. Постановка проблеми. Прийняття економічних та безпечних рішень для проектування фундаментів під час реконструкції будівель із збільшенням навантажень – актуальна проблема будівництва. При цьому виникає потреба враховувати зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів, які відбулися в основі під час довготривалого навантаження. За результатами виконаних експериментальних досліджень проаналізовані зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів під фундаментом за час експлуатації будівель. **Мета досліджень** – аналіз і вивчення змін експериментально визначених фізико-механічних характеристик ущільненого ґрунту за дії додаткового навантаження і в природному стані за результатами інженерно-геологічних випробувань у м. Дніпро. Визначення впливу характеристик ґрунту на осідання фундаменту. Збирання та аналіз натурних даних щодо зміни характеристик ґрунтів у основах будівель та споруд із різними термінами експлуатації. Отримання залежності зміни характеристик міцності та деформаційних характеристик ґрунтів основ. Визначення осідань на основу будівель, які реконструюються, за даними числового моделювання. **Результати.** Зроблено висновки та пропозиції щодо прогнозування змін характеристик ґрунтової основи з метою їх використання для визначення допустимих тисків і осідань фундаментів за додаткових навантажень під час реконструкції. Виконані інженерно-геологічні вишукування дозволили визначити фізичні, деформаційні та характеристики міцності ґрунтів у природних умовах і ущільнених тривало діючим навантаженням. Визначено зміну модуля деформації, кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення, щільності і вологості залежно від навантаження на основи.

Ключові слова: модуль деформації; кут внутрішнього тертя; питоме зчеплення; щільність ґрунту

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ

КИРИЧЕК Ю. А.¹, *д. т. н., проф.*,

КОНИК В. С.^{2*}, *ассист.*

¹ Кафедра автомобильных дорог, геодезии и землеустройства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: yakirichек@gmail.com

^{2*} Кафедра автомобильных дорог, геодезии и землеустройства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: konikviktoriya7@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7717-5210

Аннотация. Постановка проблемы. Принятие экономических и безопасных решений при проектировании фундаментов во время реконструкции зданий с увеличением нагрузок является актуальной проблемой строительства. При этом необходимо учитывать изменения физико-механических характеристик, которые произошли в основаниях при длительной нагрузке. По данным проведенных исследований проанализированы изменения физико-механических характеристик оснований при эксплуатации зданий. **Цель исследований:** анализ изменений экспериментально определенных физико-механических характеристик уплотненного грунта под действием дополнительной нагрузки и в естественном состоянии по результатам инженерно-геологических испытаний в г. Днипро. Определение влияния характеристик грунта на осадку фундамента. **Результаты.** Полученные результаты натурных исследований подтверждают вывод о том, что улучшение прочностных и деформационных характеристик грунтов под действием длительных больших нагрузок следует учитывать при проектировании реконструируемых зданий. Для этого необходимо учитывать также интенсивность и неравномерность осадок зданий во время эксплуатации.

Ключевые слова: модуль деформации; угол внутреннего трения; удельное сцепление; плотность грунта

CHANGE OF PROPERTIES OF THE BASES ON LONG-TERM LOADING

KIRICHECK Yu.O.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KONYK V.S.^{2*}, *Assist.*

¹ Department of highways, land management and geodesy, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, phone: +38 (0562) 746-38-88

^{2*} Department of highways, geodesy and land management, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 746-38-88, e-mail: konikviktorya7@gmail.com, ORCID 0000-0001-7717-5210

Abstract. Problem statement. Currently there is an issue of increasing load on the foundation in the reconstruction. It is necessary to take into account the changes in the physical and mechanical properties that occurred in the bases during the long loading. The changes in the properties of the soil under buildings were analyzed. Analysis and research of changes in experimentally determined physicomaterial characteristics of compacted soil under the effect of additional load and in the natural state according to the results of engineering geological experiment in the city of Dnipro. Determination of influence of soil characteristics on foundation settling. The results of field studies prove the conclusion that improvement of the strength and deformation characteristics of soils under influence of action of long-term heavy loads should be considered when designing reconstructed buildings. It is necessary to take into account the intensity and irregularity of buildings settling during exploitation. **The purpose** of the research is to analyze and study the changes of experimentally determined physical and mechanical characteristics of compacted soil under the action of additional load and in the natural state by results of engineering-geological tests in the city of Dnipro. The determination of influence of soil characteristics on foundation setting. Collection and analysis of field data on changes in soil characteristics in the bases of buildings and structures with different periods of operation. Obtaining dependence of the change in the strength characteristics and deformation characteristics of the soil bases. Determination of setting on the basis of buildings, which are reconstructed according to numerical modelling. **Results.** To draw conclusions and suggestions on forecasting changes in the characteristics of the soil basis for their use in determining the permissible pressures and setting of foundations at additional loads during reconstruction. Performed engineering geological surveys allowed to determine the physical, deformation and characteristics of soil strength in natural conditions and compacted by a long-acting load. Modified deformation module, internal friction angle, specific gravity, density and humidity, depending on the load on the base were determined.

Keywords: *deformation module; internal friction angle; specific gravity; soil density*

Вступ. Наразі велика увага приділяється реконструкції будівель зі збільшенням навантажень на фундаменти. Виникає необхідність урахувати зміни властивостей основ у процесі експлуатації будівель. Під час капітального ремонту або реконструкції будівлі необхідно враховувати всі параметри і конструктивні особливості будівлі, розміри і конструктивні особливості фундаменту, рівень підземних вод, характеристики ґрунтів несного і підстильних шарів. Тому тема оцінювання (прогнозування) змін міцності і деформаційних характеристик ґрунтів в основі довготривало експлуатованих будівель і споруд бачиться актуальною.

Завдяки методам прогнозування можна зменшити обсяг дорогих повторних інженерно-геологічних вишукувань і виконати реконструкцію, в тому числі збільшення поверховості будинків і споруд, без значної реконструкції існуючих

фундаментів, що дає значний економічний ефект. В даній статті проаналізовано результати натурних досліджень, проведених спільно з державним підприємством «ДніпроГІНТІЗ» в м. Дніпро.

Аналіз останніх публікацій. В основах будівель, які експлуатуються тривалий час, відбуваються зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів, викликані ущільненням за дії тиску від фундаменту, в результаті зміни рівня ґрунтових вод, а також унаслідок впливу інших факторів [1]. Зміни, що відбуваються, відбираються на здатності основ до сприйняття додаткових навантажень, що слід враховувати під час реконструкції будівель і споруд [2-4].

Питанням зміни властивостей ґрунтів у процесі експлуатації будівель присвячено праці П. А. Коновалова, Е. А. Сорочана, А. І. Поліщука, Ю. І. Дворкіна, С. Н. Сотникова, О. В. Суходубова,

О. В. Гранько, В. М. Улицького та інших учених. У них розглядаються результати дослідження міцності і деформаційних характеристик різних видів ґрунтів, які містяться в межах стиснутої товщі реконструйованих будівель [5].

Незважаючи на досить великий інтерес до проблеми, питання про врахування зміни фізико-механічних властивостей основ за дії тривалого навантаження на ґрунт вивчене недостатньо.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Нині існує обмежене число публікацій, в яких би питання проектування фундаментів реконструйованих будівель розглядалися комплексно з урахуванням особливостей зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів та фактичного напружено-деформованого стану ґрунтів основи. Найбільше праць присвячено удосконаленню методів інженерно-геологічних вишукувань і досліджень фізико-механічних властивостей ґрунтів для умов реконструкції і відновлення будівель.

Для виконання інженерно-геологічних вишукувань на майданчиках реконструйованих будівель перспективними визнаються прискорені методи (експрес-методи) дослідження ґрунтів зондуванням, пресіометричні, а також радіоізотопні, геофізичні та ін. Методи, які дозволяють оперативної, з мінімальними витратами оцінювати зміни властивостей ґрунтів і визначати необхідні параметри. Але часто виконання геологічних вишукувань неможливе, а прогноз зміни властивостей певних основ для певного регіону з комплексним науковим підходом досить перспективний.

Мета досліджень – аналіз і вивчення змін експериментально визначених фізико-механічних характеристик ущільненого ґрунту за дії додаткового навантаження і в природному стані за результатами інженерно-геологічних випробувань в м. Дніпро; визначення впливу характеристик ґрунту на осадку фундаменту.

Для цієї мети виконано такі завдання:

1. Збирання та аналіз натурних даних щодо зміни характеристик ґрунтів в основах будівель та споруд із різними термінами експлуатації. Отримання залежності зміни характеристик міцності та деформаційних характеристик ґрунтів основ.

2. Визначення осідань на основу будівель, які реконструюються, за даними числового моделювання.

3. Зроблено висновки та пропозиції щодо прогнозування змін характеристик ґрунтової основи з метою їх використання для визначення допустимих тисків і осідань фундаментів за додаткових навантажень під час реконструкції.

Основний матеріал та результати. Проведено аналіз натурних даних, виконаних фахівцями ДніпроГІНТІЗ і аспірантами кафедри землеустрою, будівництва автодоріг і геодезії ПДАБА (м. Дніпро). Дослідження проведено із зразками ґрунтів, відібраних під фундаментами будівель різної поверховості та різного року побудови. Зразки ґрунтів відбиралися як під подошвою фундаментів, так і за її межами в не ущільненій зоні, в результаті чого виконано порівняння експериментально отриманих фізико-механічних характеристик ґрунту в природному стані і після ущільнення тривалими навантаженнями. Об'єкти, на яких проводились інженерно-геологічні дослідження, розташовані в центральній частині м. Дніпро.

Дослідження ґрунтів проведено під фундаментом житлового п'ятиповерхового будинку, що по вул. Вознесенській в м. Дніпро. Будівля прямокутної форми, зведена в 1941 році. Стіни виконані з глиняної цегли на цементному розчині. Під частиною будівлі вздовж вул. Вознесенської є напівпідвальне приміщення. Глибина підвалу близько 3,0 м.

Фундаменти під будівлею стрічкові залізобетонні, матеріал – бут гранітного складу на цементному розчині, глибина закладення фундаментів на 0,95...1,00 м нижче підлоги підвалу. Фундаменти розташовані на лесових ґрунтах. Підземні води залягають на глибині 16,1...18,5 м.

Фізико-механічні характеристики ґрунту отримані в результаті компресійних випробувань методом двох кривих за тиску на зразок ґрунтів до 0,3 МПа [6]. Результати досліджень зразків супіску ПГЕ-2б, відібраних в шурфах з-під фундаменту, показали, що ґрунт там характеризувався вологістю $w = 0,18$, близькою до природної. Під навантаженням п'яти поверхової будівлі ґрунт ущільнився і зберіг просадкові властивості [7].

Модуль загальної деформації ущільненого ґрунту в інтервалі навантажень $P = 0,1...0,2$ МПа за вологості $w = 0,18$ дорівнює $E = 16,0$ МПа (поза зоною $E = 9,0$ МПа), за повного водонасичення – $E = 9,0$ МПа (поза зоною ущільнення $E = 3,5$ МПа). Супіски шару ПГЕ-2б слабопросадкові з початковим просадковим тиском 230 кПа (для порівняння ця величина для супісків ПГЕ-2 поза зоною замочування складає 50 кПа – сильнопросадкові).

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики супіску лессового / Physical and mechanical characteristics of loess sandy loam

Показники	В умовах природного залягання	Під фундаментом будівлі
Супісок лессовий		
E (МПа)	9,00	16,0
$E_{\text{вод}}$ (МПа)	3,50	9,50
Φ (°)	25,00	25,00
c (кПа)	7,00	7,00
ρ (г/см ³)	1,56...1,60	1,78...1,80

Отримані дані свідчать, що модуль загальної деформації за вологості $w = 0,18$, збільшився на 77 %. А за повного водонасичення збільшився в 2,7 рази. Значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення в умовах природного залягання і під фундаментом будівлі не відрізняються. Щільність ґрунту в ущільненій зоні збільшилася на 12,5 %.

Подібні дослідження проведені на майданчику реконструкції будівлі обласного центру зайнятості по вул. Ю. Савченка в

м. Дніпро. Ця споруда двоповерхова, в плані має конфігурацію, близьку до П-подібної і складається з декількох прибудованих будівель різних років споруди – від 1960 до 1999-го.

В основі фундаментів досліджуваної будівлі залягає супісок лессовий ПГЕ-2. Їх фізико-механічні властивості вивчалися в умовах природного залягання по моноліту, вручну відібраними з дудки на відстані 3,0 м від будівлі, і по моноліту, відібраним у шурфах із-під фундаментів [6].

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики супіску лессового / Physical and mechanical characteristics of loess sandy loam

Показники	В умовах природного залягання	Під фундаментом будівлі
Супісок лессовий		
E (МПа)	7,00	8,00
$E_{\text{вод}}$ (МПа)	3,50	4,00
Φ (°)	27,00	27,00
c (кПа)	8,00	8,00
P (г/см ³)	1,61...1,69	1,66...1,74
w	0,16...0,19	0,14...0,18

В даному випадку модуль загальної деформації під фундаментом більший на 14 %, як і за повного водонасичення. Значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення в умовах природного залягання і під фундаментом будівлі залишилися незмінними. Щільність ґрунту в ущільненій зоні збільшилася на 2,9 %. Вологість зменшилася на 10,5 %.

На іншому майданчику інженерно-геологічні вишукування проведені під фундаментами житлових будинків за адресою м.Дніпро, вул. Михайла Грушевського, 15, і вул. Святослава Хороброго, 15, 19. Досліджуваний чотириповерховий житловий будинок Г-подібної форми орієнтовно 1930 року побудови. Стіни будівлі складені з глиняної цегли на цементному розчині. Під частиною будівлі (вздовж вул. Святослава Хороброго) є напівпідвальне приміщення, Глибина підвалу близько 3,0 м. Перекриття між

поверхами дерев'яні, а над цоколем – бетонне.

Фундаменти під несними стінами дво- і чотириповерхової будівлі і простінками стрічкові бетонні, глибина закладення 3,75 м від денної поверхні, шириною 0,65 м, прямокутної форми. Фундаменти зведені на лесових ґрунтах. Ознак деформації фундаментів немає.

На майданчику підземні води залягали на глибині 17,7...21,0 м. Слід зазначити, що природний режим ґрунтових вод порушений через аварійні і постійні витіки з водогінних комунікацій, внаслідок чого утворилося куполоподібне підняття рівня підземних вод у центральній частині досліджуваного майданчика.

Нижче наведено опис фізико-механічних властивостей ґрунтів, розташованих під подошвою фундаментів досліджуваної будівлі і в умовах природного залягання.

Таблиця 3

Фізико-механічні характеристики супіску лесового / Physical and mechanical characteristics of loess sandy loam

Показники	В умовах природного залягання	В замоченій зоні	Під фундаментами будівлі в замоченій зоні	Під фундаментами будівлі за межами замоченої зони
Суглинки лесові				
W	0,09... 0,16	0,18... 0,24	0,19...0,20	0,14
ρ (г/см ³)	1,49... 1,72	1,68... 1,75	1,72...1,74	1,73...1,74
E (МПа)	8,50	4,50	11,00	22,00
$E_{вод}$ (МПа)	3,00	3,00	4,00	10,00
φ (°)	25,00	24,00	26,00	28,00
c (кПа)	22,00	13,00	26,00	39,00

Із порівняння показників фізико-механічних властивостей суглинків ПЕ-3в і суглинків ПЕ-3, що лежать за межами будівель і поза зоною замочування, видно, що ґрунт під будівлями має більш високу щільність 1,74 г/см³ (поза зоною 1,49 г/см³), тобто щільність більше на 16,7 %, а в замоченій зоні щільність ґрунту під

фундаментом становить 1,74 г/см³ (за межами фундаменту 1,68 г/см³), більша на 3,6 %. Деформаційні і характеристики міцності поліпшилися: модуль загальної деформації для інтервалу навантажень 0,1... 0,2 МПа за природної вологості під фундаментом дорівнює 22,0 МПа (поза зоною 8,5 МПа), різниця становить 58,8 %, за повного водонасичення – 10,0 МПа (поза зоною 3,0 МПа), різниця в 3,3 раза. Кут внутрішнього тертя в природному стані 28° (поза зоною 25°), збільшився на 12 %. Питоме зчеплення 39,0 кПа (поза зоною 22,0 кПа). збільшилося на 77 %.

Суглинки ПЕ-3в слабопросадкові, початковий просадковий тиск склав 165 кПа (для порівняння ця величина для суглинків ПЕ-3 поза зоною замочування складає 45 кПа – сильнопросадкові).

Подібні дослідження були проведені на майданчику реконструкції будинку по Старокозацький, 53. Будівля житлова, п'ятиповерхова підлягає реконструкції. Фундаменти під будівлею під несні стіни стрічкові, виконані з глиняної цегли, з різною глибиною залягання: 0,35; 0,45; 0,55; 0,55 м, закладені на природній основі без попередньої підготовки. Стіни виконані з глиняної цегли на цементно-піщаному розчині, перекриття по дерев'яних балках. Під усім будинком розташований підвал глибиною 2,5 м.

Несний шар основ складають лесові супіски ПЕ-2 в природному стані і ПЕ-2а, навантажені будівлею.

Таблиця 4

Фізико-механічні характеристики супіску лесового / Physical and mechanical characteristics of loess sandy loam

Показники	В умовах природного залягання	Під фундаментом будівлі
Супісок лесовий		
E (МПа)	5,80	7,30
φ (°)	23,40	24,20
c (кПа)	2,00	4,00
ρ (г/см ³)	1,54	1,66
W	0,11	0,16

За результатами лабораторних досліджень ґрунтів (супіски ПЕ-2а), що залягають в основі існуючих фундаментів, встановлено, що за рахунок навантаження від будівлі в корінних лесових супісках ПЕ-2 змінилися показники фізико-механічних властивостей. Ґрунт під подошвою фундаменту ущільнився. Про це свідчить порівняння фізичних характеристик.

Із результатів визначення деформаційних характеристик можна зробити такий висновок: під час експлуатації будівлі кут внутрішнього тертя збільшився на 3,2 %, питоме зчеплення збільшилося на 73 %, а модуль деформації зріс на 25,9 %. Ці дані свідчать, що в процесі експлуатації будівлі ґрунт ущільнився, його характеристики поліпшилися і можливе збільшення навантажень на будівлю без додаткового посилення фундаментів.

Використовуючи програмний комплекс "Plaxis" (вступну 3D версію) і розрахункові характеристики ґрунтів після їх тривалого обтиснення фундаментами, для моделі пружно-пластичного однорідного середовища виконали розрахунки осідань на різні вертикальні статичні навантаження. Результати наведені на рисунках 1, 2.

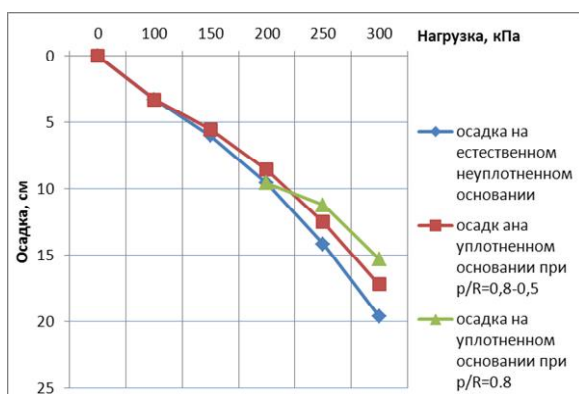


Рис. 1. Графік осідань фундаментів від навантаження на природній основі із супіску та після його довготривалого обтиснення /

Fig. 1. Schedule of sedimentation of foundations from the load on a natural basis from the sandstone and after its long-term compression

Обчислення числовим методом показало зменшення розрахункових осідань після їх тривалого обтиснення порівняно з розрахунками осадок на природній основі

(супісок до 24 % і на суглинках до 25 %), що дає можливість підвищити допустимі тиски на фундаменти.

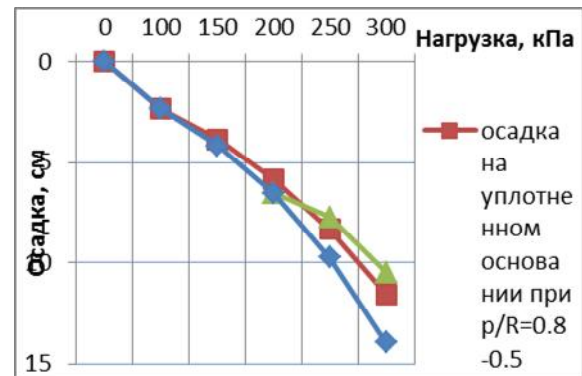


Рис. 2. Графік осідань фундаментів від навантаження на природній основі із суглинку та після його довготривалого обтиснення /

Fig. 2. Schedule of sedimentation of foundations from load on a natural basis from a loam and after its long-term compression

Висновки. Виконані інженерно-геологічні вишукування дозволили визначити фізичні, деформаційні та характеристики міцності ґрунтів у природних умовах і ущільнених тривало діючим навантаженням. Визначено зміну модуля деформації, кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення, щільності і вологості залежно від навантаження на основи. Під будівлями малої поверховості (до 2 поверхів) у ґрунтах відбуваються незначні зміни деформаційних характеристик та характеристик міцності. Під п'ятиповерховими будинками відбувається значне збільшення міцності і деформаційних властивостей. Щільність ґрунту збільшується від 12,5 до 16,7 %, модуль деформації від 14 до 77 %, кут внутрішнього тертя збільшився на 12 %, а питоме зчеплення на 77 %.

Отримані результати натурних досліджень підтверджують висновок про те, що поліпшення характеристик міцності і деформаційних характеристик ґрунтів за дії довготривалих великих навантажень слід урахувати для проектування будівель, що реконструюються. Для цього необхідно враховувати так само інтенсивність і нерівномірність осідань будівель за час експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гранько О. В. Работа системы «основание – фундамент – здание» при надстройке / О. В. Гранько, О. В. Суходуб // Отраслевое машиностроение, строительство. – Вып. 3 (38), т. 2. – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – 24–31 с.
2. Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий : монография / П. А. Коновалов. – Москва : Стройиздат, 1988. – 288 с.
3. Морарескул Н. Н. Реконструкция городов и геотехническое строительство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://georec.narod.ru/>
4. Полищук А. И. Изменение свойств грунтов в основаниях фундаментов длительно эксплуатируемых зданий / А. И. Полищук, В. В. Фурсов, М. В. Балюра. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. – С. 179–183.
5. Понамарев А. Б. Влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунтов / А. Б. Понамарев, С. В. Калошина, Н. И. Салимгариева // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – № 1. – 2013. – С. 30–36.
6. ДСТУ Б.В.1-3-96 «Грунти. Лабораторні випробування. Основні положення». – Київ : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2002. – 16 с. – Режим доступу : www.acsbud.ua/gost1/dstu/15/ДСТУ%20Б%20В.2.1-8-2001.doc
7. ДСТУ Б.В.2.1-4-96 «Грунти. Методи статистичної обробки результатів визначення характеристик». – Київ : Мінрегіон України, 2009. – 34 с. – Режим доступу : [http://www.niisk.com/images/%D0%9F%D0%97%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92%202.1-10_\(1%D0%80%D0%B5%D0%B4\).pdf](http://www.niisk.com/images/%D0%9F%D0%97%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92%202.1-10_(1%D0%80%D0%B5%D0%B4).pdf)

REFERENCES

1. Granko O.V. and Sukhodub O.V. *Rabota sistemy «osnovanie-fundament-zdanie» pri nadstrojke* [The work of the system “foundation-foundation-building” under the superstructure]. *Otraslevoye mashinostroyeniye, stroitel'stvo* [Industrial Engineering, Construction]. Poltava : PolSTU, 2013, iss. 3 (38), vol. 2, pp. 24–31. (in Russian).
2. Kononov P.A. *Osnovaniya i fundamenti rekonstruiruemyyh zdaniy* [Foundations and foundations of reconstructed buildings]. Moscow : Stroyizdat, 1988, 288 p. (in Russian).
3. Morareskul N.N. *Rekonstrukciya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Urban reconstruction and geotechnical construction] [Electronic resource]. (in Russian).
4. Polishchuk A.I. Fursov V.V. and Balyura M.V. *Izmeneniye svojstv gruntov v osnovaniyah fundamentov dlitelno ekspluatiruemyh zdaniy* [Changing the properties of soils in the foundations of the foundations of long-running buildings]. Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, pp. 179–183. (in Russian).
5. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V. and Salimgarieva N.I. *Vliyanie processa podtopleniya na fiziko-mekhanicheskie svojstva gruntov* [Effect of the underflooding process on the physicommechanical properties of soils]. Academic Bulletin UralSRProject RAACS, no. 1, 2013, pp. 30–36. (in Russian).
6. DSTU B.V.1-3-96 *Grunty. Laboratornye ispytaniya. Osnovnye polozheniya* [Soils. Laboratory tests. The main provisions]. Kyiv : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 2002, 16 p. (in Ukrainian).
7. DSTU B.V.2.1-4-96 *Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezultatov opredeleniya harakteristik* [Soils. Methods of statistical processing of the results of characterization]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2009, 34 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 04.06.2019 р.

УДК 624.012.3:620.179.16

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.58.464

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ У БЕТОНІ

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, к. т. н., доц.,

КОЛОХОВ О. В.², студ.

^{1*} Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

Анотація. Постановка проблеми. Визначення фізико-механічних характеристик бетону за допомогою ультразвукових коливань просте, але залежить від низки технологічних операцій та природних умов. Сучасні ультразвукові прилади використовують переважно так званий «сухий» контакт між поверхнею та приладом, що не завжди дозволяє отримати однозначні результати. **Мета дослідження** – оцінити вплив відмінностей структури бетону на час поширення ультразвуку в бетоні за зміни умов проведення вимірювань. **Методика.** Вимірювання проведено за допомогою приладу «Novotest ИПСМ-У». Під час випробувань використано зразки бетону з різним гранулометричним складом заповнювача. Зусилля притискання приладу до бетону зразка не перевищувало рекомендованого виробниками приладу. Статистична обробка отриманих результатів (з візуалізацією) виконана з використанням програмного комплексу EXEL. **Результати.** Для кожного зразка результати вимірювань перебувають у межах довірчого інтервалу із забезпеченістю 0,95. Визначено залежності «час поширення ультразвукових коливань – зусилля притискання приладу» та межі інтервалів із лінійними змінами. Спроби з'ясувати залежність змін меж встановлених інтервалів від змін у складі бетону зразків привели до значно нелінійних залежностей з низькою достовірністю апроксимації. Для дрібнозернистого бетону підтверджено вплив зусилля притискання приладу до бетону на результати вимірювань. Зразки з дрібнозернистого бетону продемонстрували більшу однорідність ніж зразки з важкого бетону. Більш висока однорідність, такого бетону порівняно зі звичайним важким бетоном все одно не дозволяє використовувати узагальнюючі залежності для визначення фізико-механічних характеристик бетону за результатами вимірювання часу поширення ультразвукових коливань за «сухого» контакту між приладом та бетоном. **Висновки.** Аналіз наведених результатів підтвердив необхідність удосконалення існуючої методики визначення фізико-механічних характеристик бетону за допомогою ультразвукових приладів. Підвищення точності методики можливо досягнути зменшенням впливу неоднорідності складу бетону, умов його виготовлення та експлуатації.

Ключові слова: фізико-механічні характеристики; неруйнівний контроль; ультразвук

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В БЕТОНЕ

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, к. т. н., доц.,

КОЛОХОВ А. В.², студ.

^{1*} Кафедра технологий строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² Кафедра технологий строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

Аннотация. Постановка проблемы. Определение физико-механических характеристик бетона с помощью ультразвуковых колебаний одновременно с простотой дает большую неточность, которая зависит от ряда технологических операций и природных условий. Современные ультразвуковые приборы используют преимущественно так называемый «сухой» контакт между поверхностью и прибором, что не всегда позволяет получить однозначные результаты. **Цель исследования** – оценить влияние различий структуры бетона на время распространения ультразвука в бетоне при изменении условий проведения измерений. **Методика.** Измерения произведены с помощью прибора «Novotest ИПСМ-У». Во время испытаний использованы образцы бетона с различным гранулометрическим составом заполнителя. Усилие прижатия прибора к бетону образца не превышало рекомендованного производителями прибора. Статистическая обработка полученных результатов

(с визуализацией) выполнена с использованием программного комплекса EXEL. **Результаты.** Для каждого образца результаты измерений находятся в пределах доверительного интервала с обеспеченностью 0,95. Определены зависимости «время распространения ультразвуковых колебаний – усилие прижатия прибора» и границы интервалов с линейными изменениями. Попытки установить зависимость изменений границ установленных интервалов от изменений в составе бетона образцов привели к значительно нелинейным зависимостям с низкой достоверностью аппроксимации. Для мелкозернистого бетона подтверждено влияние усилия прижатия прибора к бетону на результаты измерений. Образцы из мелкозернистого бетона продемонстрировали большую однородность, чем образцы из тяжелого бетона, что все равно не позволяет использовать обобщенную зависимость для определения физико-механических характеристик бетона по результатам измерения времени распространения ультразвуковых колебаний при «сухом» контакте между прибором и бетоном. **Выводы.** Анализ приведенных результатов подтвердил необходимость совершенствования существующей методики определения физико-механических характеристик бетона с помощью ультразвуковых приборов. Повышения точности методики можно достичь путем уменьшения влияния неоднородности состава бетона, условий его изготовления и эксплуатации.

Ключевые слова: физико-механические характеристики; неразрушающий контроль; ультразвук

SOME ASPECTS OF MEASURING THE TIME OF PROPAGATION OF ULTRASONIC VIBRATIONS IN CONCRETE

KOLOKHOV V.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
KOLOKHOV O.V.², *Stud.*

^{1*} Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

Abstract. Problem statement. Determination of the physico-mechanical characteristics of concrete with the use of ultrasonic vibrations simultaneously with simplicity has great uncertainty, which depends on a number of technological operations and environmental conditions. Modern ultrasonic devices use mainly the so-called “dry” contact between surface and device, which does not always allow to get unambiguous results. **Purpose.** To evaluate the effect of differences in the structure of concrete on the propagation time of ultrasound in concrete with changing measurement conditions. **Methods.** Measurements are made using the instrument "Novotest IPSM-U". During testing, samples of concrete with various aggregate granulometric composition were used. The pressing force of the device to the sample concrete did not exceed the device recommended by manufacturers. Statistical processing of the results obtained (with visualization) was performed using the EXEL software package. **Results.** For each sample, the measurement results are within the confidence interval with a security of 0.95. The dependences of the “propagation time of ultrasonic vibrations – the force of pressing the device” and the boundaries of intervals with linear changes are determined. Attempts to establish the dependence of changes in the boundaries of the established intervals on changes in the concrete composition of the samples led to significantly non-linear dependencies with low confidence of the approximation. For fine-grained concrete, the effect of pressing the device to concrete on the measurement results was confirmed. Samples of fine-grained concrete showed greater uniformity than samples of heavy concrete. That still does not allow the use of a generalized relationship to determine the physico-mechanical characteristics of concrete from the results of measuring the propagation time of ultrasonic vibrations during a “dry” contact between the device and concrete. **Conclusions.** The analysis of these results confirmed the need to improve the existing methodology for determining the physico-mechanical characteristics of concrete using ultrasonic devices. The improvement of the accuracy of the technique can be achieved by reducing the influence of heterogeneity of concrete composition, conditions of its manufacture and operation.

Keywords: physical-mechanical characteristics; non-destructive control; ultrasound

Постановка проблеми. Визначення фізико-механічних характеристик (ФМХ) бетону за допомогою ультразвукових коливань (УЗК) набуло популярності завдяки достатній простоті методики застосування. Одночасно із простотою використання ультразвуковий метод має велику невизначеність [1; 2]. Ця

невизначеність зумовлена значною мірою неоднорідністю ФМХ бетону, яка, у свою чергу, залежить від низки технологічних операцій та природних умов [3]. Стандарти, що регламентують застосування цього методу [4; 5], пропонують використовувати різні прилади та тарувальні (градуювальні)

залежності з їх коректуванням для кожного нового складу бетону.

Сучасні прилади вимірювання часу поширення УЗК (ЧПУЗК) використовують переважно так званий «сухий» контакт між поверхнею та приладом [4; 6]. Але, як показано у праці [7], умови застосування приладів, що рекомендовані їх виробниками [6], не завжди дозволяють отримати однозначні результати.

За для підвищення точності визначення ФМХ бетону необхідно врахувати вплив зусилля притискання приладу до поверхні, структуру та склад матеріалу, умови формування та тверднення бетону.

Мета дослідження – оцінити вплив відмінностей структури бетону на час поширення ультразвуку в бетоні за зміни умов проведення вимірювань.

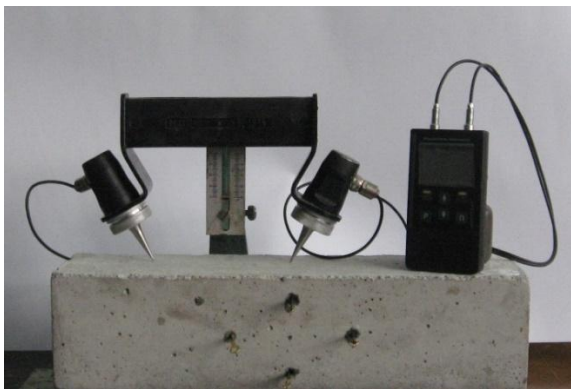


Рис. 1. Вимірювання часу поширення УЗК за допомогою вимірювача міцності будівельних матеріалів «Novotest ИПСМ-У» / Fig. 1. Measurement of the time of propagation of ultrasound with the help of a durability meter of building materials «Novotest ИПСМ-У»

Виклад матеріалу. Експерименти проведено зі зразками, виготовленими з дрібнозернистого бетону п'яти різних складів. Співвідношення між цементом та заповнювачем дорівнювало 1/3. Відмінності у складах досягнуто за рахунок зміни розмірів заповнювача. Для одного складу бетону як заповнювач використано дніпровський річковий пісок. Для решти чотирьох – часткові залишки на ситах 0,14; 0,315; 0,63 та 1,25 мм, які отримано під час просіювання цього піску крізь стандартний набір сит. Зразки виготовлено розміром 100 × 100 × 400 мм у металевій опалубці. Під час дослідження вимірювався час

поширення ультразвукових коливань (ЧПУЗК) на постійній базі, що зумовлено конструкцією приладів. Застосовано вимірювач міцності будівельних матеріалів «Novotest ИПСМ-У» (рис. 1). База вимірювання складала 120 мм.

Визначення проводилось на різних бічних поверхнях зразків, одна з яких контактувала з металевою опалубкою під час виготовлення та тверднення бетону, а інша – ні.

Інтервал зміни зусилля притискання приладу до зразка обрано від умовного нуля (вага лише самого приладу) до рекомендованого виробником рівня (10 кг). Шаг зміни складав 1,0 кг на всіх етапах, крім першого, для якого зусилля змінилось від власної ваги приладу до 1 кг.

На рисунках 2–6 показано результати визначення залежності «ЧПУЗК – зусилля притискання» для зразків бетону з різним гранулометричним складом заповнювача.

Як і в експериментах із важким бетоном [7], залежність поділяється на три інтервали: два «повільні» (на початку та наприкінці) та один «різкий» (між «повільними»).

Наведені залежності якісно більше схожі між собою, ніж аналогічні залежності для важкого бетону [7], але встановлення кількісних залежностей також ускладнене.

Для зразків із дрібнозернистого бетону підтверджено вплив умов тверднення (наявність або відсутність опалубки поруч із поверхнею бетону), але відсутня пряма залежність між контактом із поверхнею опалубки та ЧПУЗК. В окремих випадках зміна ЧПУЗК для другого «повільного» інтервалу (на відміну від важкого бетону) стає значно нелінійною. До того ж, для зразків дрібнозернистого бетону інтервал із різкими змінами ЧПУЗК складає від 10 до 20 % від усього інтервалу вимірювань.

Спроби з'ясувати залежність змін меж установлених інтервалів від змін у складі бетону зразків зумовили значні нелінійні залежності з низькою достовірністю апроксимації. Статистична обробка результатів виконана за допомогою засобів EXEL.

Обчислено: середнє значення ЧПУЗК на кожному етапі; максимальнє та мінімальнє значення; стандартнє відхилення; коефіцієнт

варіації, критерій Стюдента та межі довірчого інтервалу із забезпеченістю 0,95.

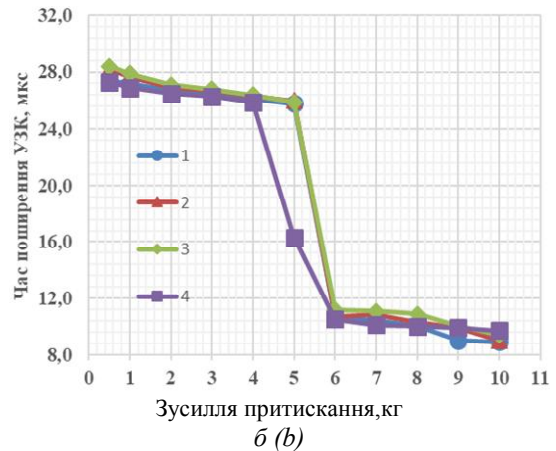
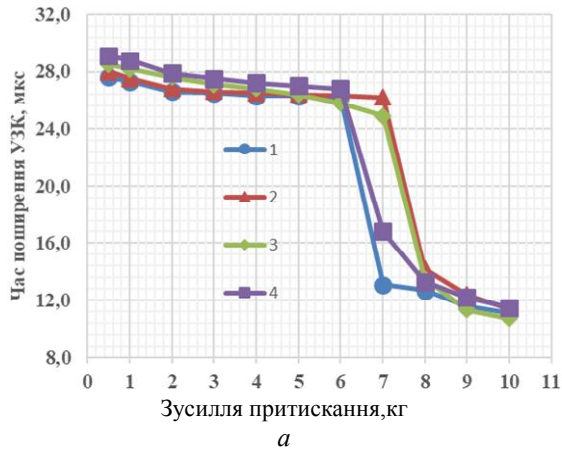


Рис. 2. Залежність «ЧПУЗК – зусилля притискання» (склад № 1) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 2. Dependence "time of ultrasound propagation – pressing forces" (composition No. 1) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

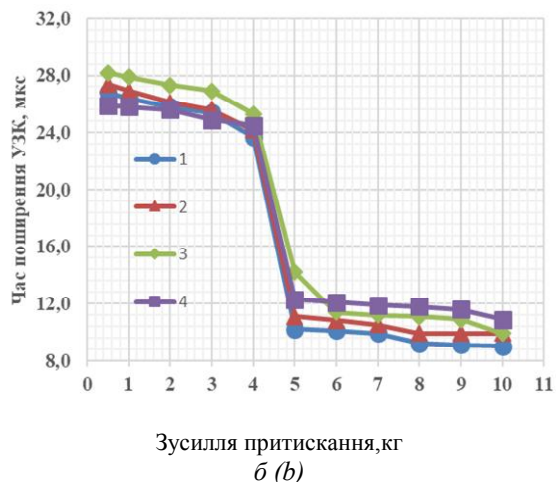
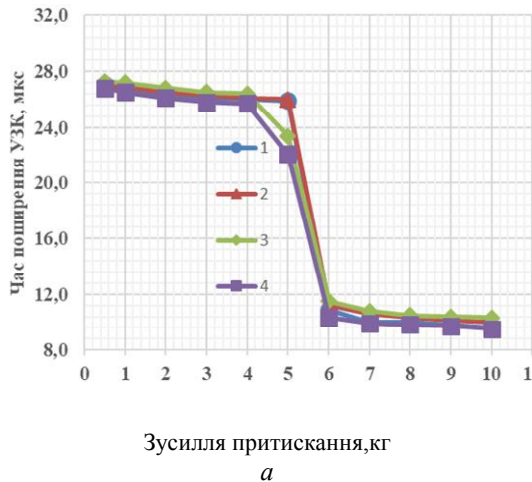


Рис. 3. Залежність «ЧПУЗК – зусилля притискання» (склад № 2) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 3. Dependence "time of ultrasound propagation – pressing forces" (composition No. 2) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

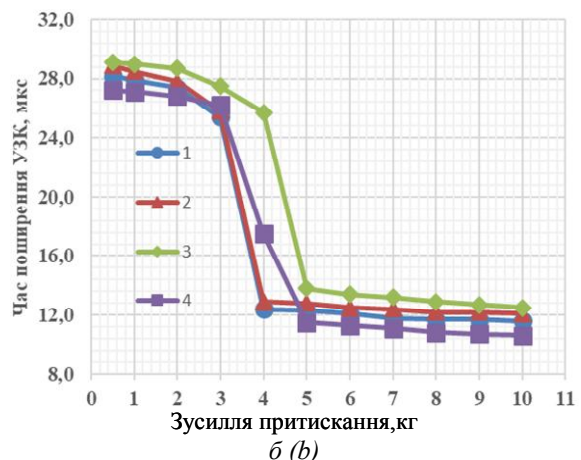
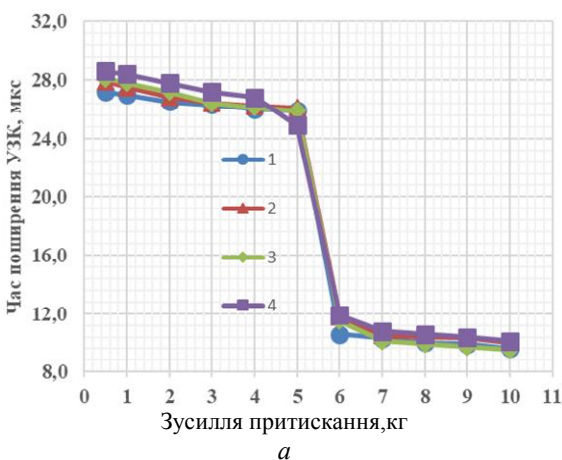


Рис. 4. Залежність «ЧПУЗК – зусилля притискання» (склад № 3) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 4. Dependence "time of ultrasound propagation – pressing forces" (composition No. 3) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

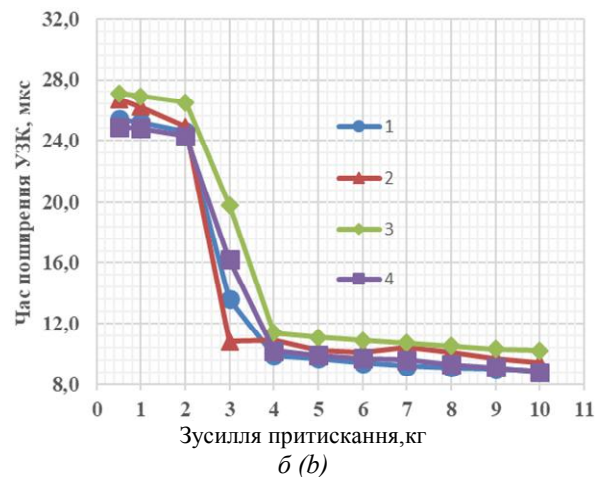
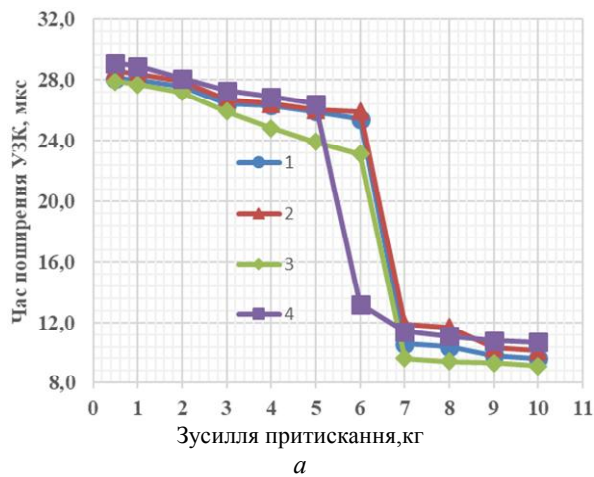


Рис. 5. Залежність «ЧПУЗК – зусилля притискання» (склад № 4) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 5. Dependence "time of ultrasound propagation – pressing forces" (composition No. 1) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

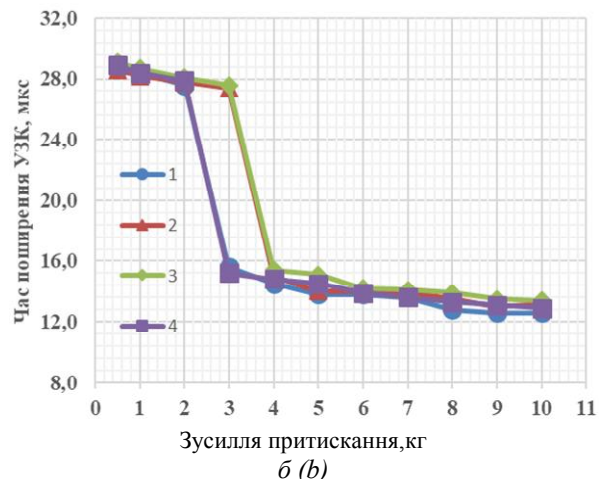
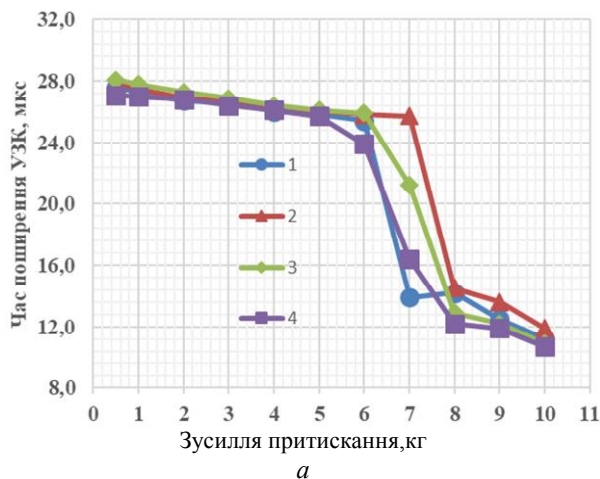


Рис. 6. Залежність «ЧПУЗК – зусилля притискання» (склад № 5) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 6. Dependence "time of ultrasound propagation – pressing forces" (composition No. 1) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

Результати статистичної обробки отриманих даних (рис. 2–6) наведено на рисунках 7–11.

Для кожного зразка результати вимірювань перебувають у межах довірчого інтервалу із забезпеченістю 0,95.

За результатами вимірювань зразки з дрібнозернистого бетону демонструють більшу однорідність, ніж зразки з важкого бетону за даними [7]. Межі «різкого» інтервалу в переважній більшості не перевищували 10 % від усього діапазону вимірювань, а для третини зразків були ще менші. Коефіцієнт варіації також нижчий для всього інтервалу. Для першої «повільної» зони не перевищує 4,39 %

(зниження на 100...150 %). В межах другої «повільної» зони – 7,86 % (зниження на 70...120 %), а в межах «різкої» – 35,97 % (зниження на 60...80 %). Але, як і для важкого бетону, межі «різкої» зони не мають чіткого місця, а мігрують. Початок цієї зони є в межах 2-6 кг (зусилля притискання) а закінчення – 4-8 кг (зусилля притискання). Лише для 40% зразків другий «повільний» інтервал перебуває в тих межах, що рекомендовані виробниками приладів для проведення вимірювань.

Під час спільної обробки для всіх зразків максимальні та мінімальні значення ЧПУЗК виходять за межі довірчого інтервалу, що характеризує окремі залежності (окремо для

кожного складу бетону), як такі, що не належать до однієї генеральної сукупності.

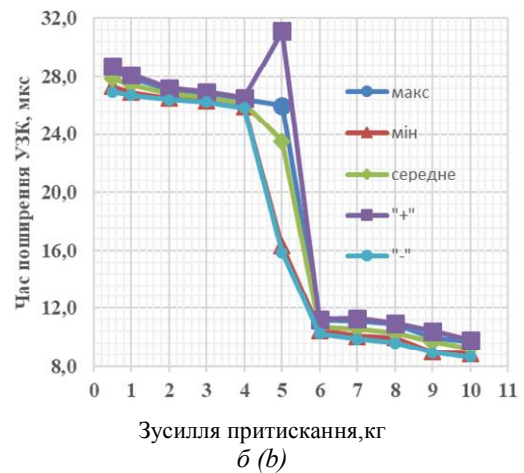
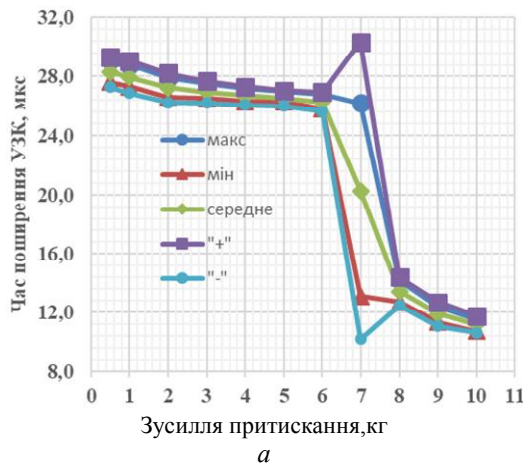


Рис. 7. Результати статистичної обробки даних (рис. 2) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 7. Results of statistical data processing (fig. 2) on the surface, which: а – contact with the formwork; б – did not contact the formwork

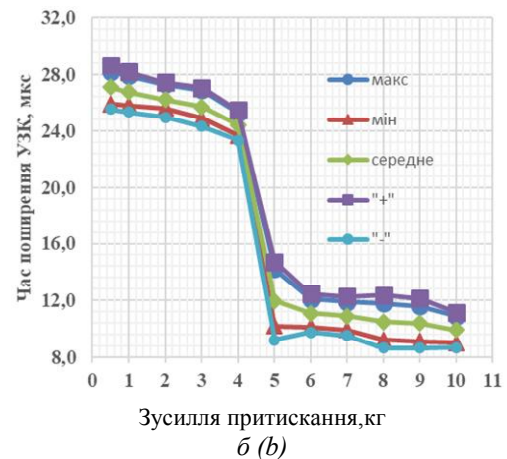
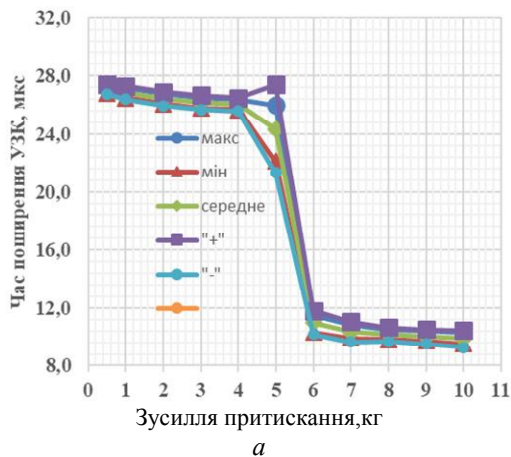


Рис. 8. Результати статистичної обробки даних (рис. 3) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 8. Results of statistical data processing (fig. 3) on the surface, which: а – contact with the formwork; б – did not contact the formwork

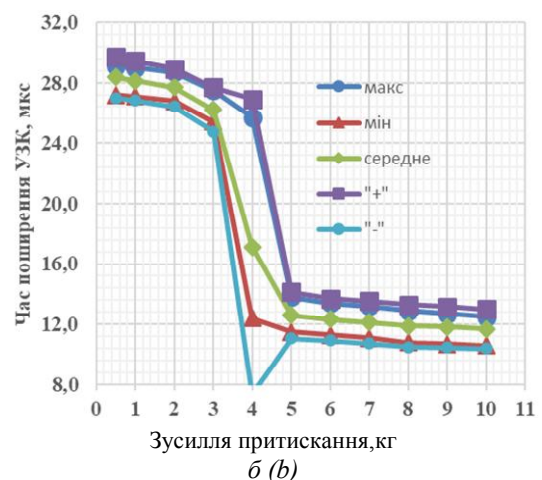
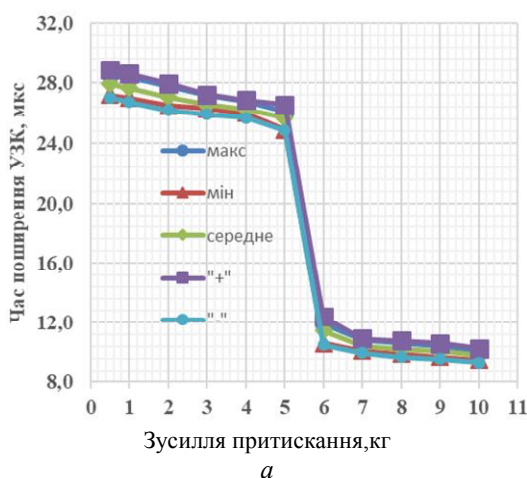


Рис. 9. Результати статистичної обробки даних (рис. 4) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 9. Results of statistical data processing (fig. 4) on the surface, which: а – contact with the formwork; б – did not contact the formwork

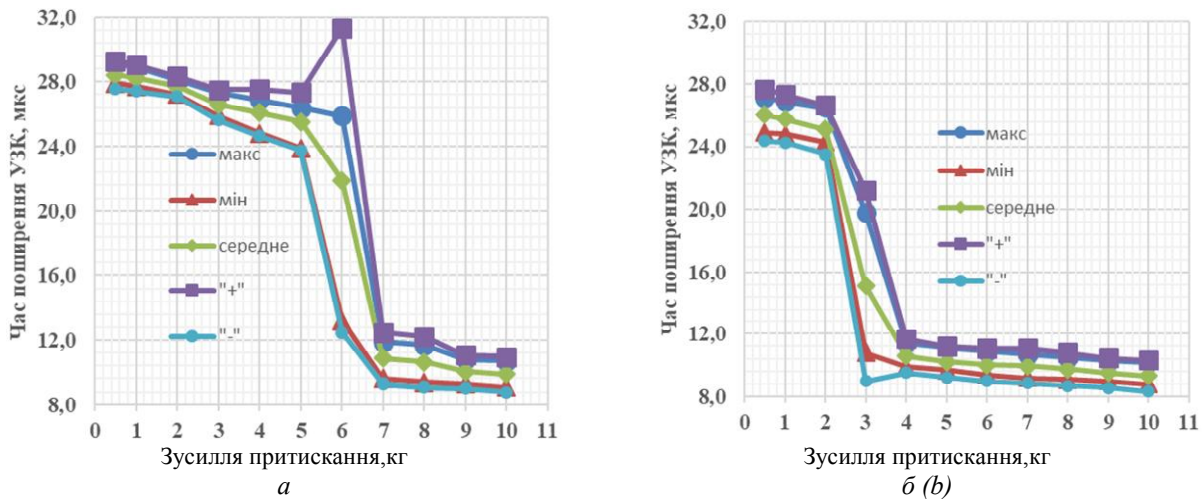


Рис. 10. Результати статистичної обробки даних (рис. 5) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 10. Results of statistical data processing (fig. 5) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

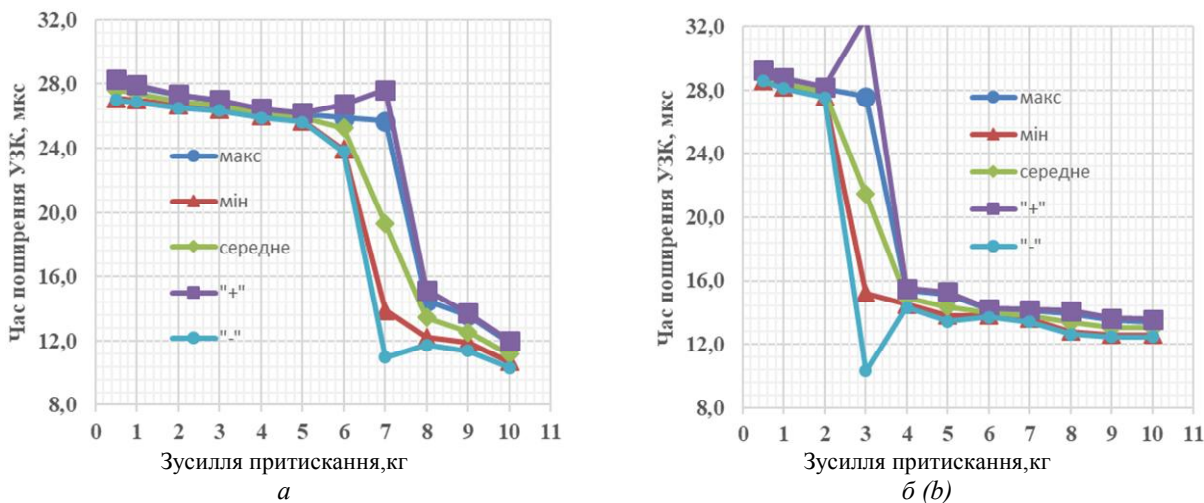


Рис. 11. Результати статистичної обробки даних (рис. 6) на поверхні, яка: а – контактувала з опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 11. Results of statistical data processing (fig. 6) on the surface, which: a – contact with the formwork; b – did not contact the formwork

Таким чином, і для дрібнозернистого бетону підтверджено вплив зусилля притискання приладу до бетону на результати вимірювань. Більш висока однорідність такого бетону порівняно зі звичайним важким бетоном все одно не дозволяє використовувати узагальнювальні залежності для визначення ФМХ бетону за результатами вимірювання ЧПУЗК за «сухого» контакту між приладом та бетоном.

Використання даних визначення ФМХ бетону як однієї зі складових перевірконого розрахунку конструкцій [8; 9] та в

подальшому для оцінювання технічного стану конструкцій будівель та споруд можливе лише в разі вдосконалення методики вимірювання ЧПУЗК.

Висновки. Аналіз наведених результатів підтвердив необхідність удосконалення існуючої методики визначення ФМХ бетону за допомогою ультразвукових приладів. Підвищення точності методики можна досягнути за рахунок зменшення впливу неоднорідності складу бетону та умов його виготовлення та експлуатації

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Komlos K. Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards / K. Komlos, S. Popovics, T. Nürnbergerova, B. Babal, J. Popovics // *Cem. Concr. Compos.* – 1996. – Vol. 18. – Pp. 357–364. – Режим доступу : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946596000261#aeр-abstract-id6>
2. Breysse D. Nondestructive evaluation of concrete strength : An historical review and a new perspective by combining NDT methods / D. Breysse // *Construction Building Materials.* – 2012. – Vol. 33. – Pp. 139–163. – Режим доступу : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811007938>
3. Kolokhov V. Structure materialphysic-mechanical characteristics accuracy determination while changing the level of stresses in the structure / Victor Kolokhov, Artem Sopilniak, Grygorii Gasii, Alexander Kolokhov // *International Journal of Engineering and Technology.* – 2018. – Vol. 7. – № 4.8. – Pp. 74–78.
4. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності : ДСТУ Б В.2.7-226:2009. [Чинний від 2010-09-01]. – Київ : ДП Укрархбудінформ, 2010. – 27 с. (Національний стандарт України).
5. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности : ГОСТ-17624-2012. [Дата введения 2014-01-01]. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 16 с. (Межгосударственный стандарт).
6. Измеритель прочности бетона и стройматериалов Novotest ИПСМ / Novotest. Приборы контроля и качества : каталог // ООО НТЦ «Промышленное оборудование и технологии». – Новомосковск. – 2012. – 26 с. – Режим доступу : https://novotest.ua/media/novotest/novotest_catalogue_rus.pdf
7. Колохов В. В. Зміна часу поширення ультразвукових коливань у бетоні за зміни умов проведення вимірювань / В. В. Колохов, О. В. Колохов // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.* – 2019. – № 2. – С. 92–101.
8. Колохов В. В. Формализация процедуры определения физико-механических свойств бетона и её аппаратное обеспечение / В. В. Колохов // *Строительство, материаловедение, машиностроение.* – Вып. 69 – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – С. 231–236.
9. Колохов В. В. Некоторые аспекты применения методов неразрушающего контроля свойств бетона / В. В. Колохов // *Theoretical foundations of civil engineering. Polish-Ukrainian Transactions (conference).* – Варшава, 2012. – Вып. 20. – С. 443–448.

REFERENCES

1. Komlos K., Popovics S., Nürnbergerova T., Babal B. and Popovics J. Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards. *Cem. Concr. Compos.* 1996, vol. 18, pp. 357–364.
2. Breysse D. Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods. *Construction Building Materials.* 2012, vol. 33, pp. 139–163.
3. Kolokhov V., Sopilniak A., Gasii G. and Kolokhov O. Structure materialphysic-mechanical characteristics accuracy determination while changing the level of stresses in the structure. *International Journal of Engineering & Technology.* 2018, vol. 7, no. 4.8, pp. 74–78.
4. *Betoni. Ul'trazvukovij metod viznachennya mitsnosti : DSTU B V.2.7-226:2009* [Concrets. Ultrasonic method for determining strength: DSTU B V.2.7-226: 2009]. Effective from 2010-09-01. Kyiv : DP Ukrarahbudinform, 2010, 27 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
5. *Betony. Ul'trazvukovoj metod opredeleniya prochnosti : GOST-17624-2012* [Concretes. Ultrasonic method for determining strength]. Introduction date 2014-01-01, Moscow : Standardinform, 2014, 16 p. (Interstate Standard). (in Russian).
6. *Izmeritel' prochnosti betona i strojmaterialov Novotest IPSM* [Measurement of strength of concrete and building materials Novotest IPSM]. *Novotest. Pribory kontrolya i kachestva* [Novotest. Control and quality devices: catalog]. Scientific and industrial center "Industrial equipment and technologies", Novomoskovsk, 2012, 26 p. (in Russian).
7. Kolokhov V.V. and Kolokhov O.V. *Zmina chasu poshyrennya ul'trazvukovykh kolyvan' u betoni za zminy umov provedennya vymiryuvan'* [Changing the time of ultrasonic oscillation propagation in concrete for changing conditions of measurement]. *Visnyk Prydniprov's'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, no. 2, pp. 92–101. (in Ukrainian).
8. Kolokhov V.V. *Formalizaciya procedury opredeleniya fiziko-mehaniicheskikh svojstv betona i ee apparaturnoe obespechenie* [Formalization of the procedure for determining the physicomachanical properties of concrete and its hardware]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Engineering]. Vol. 69, Dnipropetrovsk, PSACEA, 2013, pp. 231–236. (in Russian).
9. Kolokhov V.V. *Nekotorye aspekty primeneniya metodov nerazrushayuschego kontrolya svojstv betona* [Some aspects of the application of methods for non-destructive testing of concrete properties]. *Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian Transactions (conference).* Warsaw, 2012, vol. 20, pp. 443–448. (in Russian).

Надійшла до редакції: 14.06.2019 р.

УДК 666.983

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.67.465

ВПЛИВ ДИСКРЕТНИХ ВОЛОКОН (МІНЕРАЛЬНІ, ПОЛІМЕРНІ) НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ

КОНДРАТЬЄВА Н. В.¹, к. т. н., доц.,

МОРОЗ Л. В.², к. т. н., доц.,

МОРОЗ В. Ю.^{3*}, аспір.

¹ Кафедра хімічної технології в'язких матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

² Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем та технології будівництва, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: linysek-slv@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

^{3*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: morozdnipro@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2435-8050

Анотація. Постановка проблеми. Застосування як армувальних компонентів металевих і поліпропіленових волокон для виготовлення сумішей для облаштування елементів підлоги, що одержало останнім часом значне поширення, не сприяє зниженню собівартості таких сумішей. **Мета статті** – визначити вплив базальтового волокна на реологічні властивості цементно-піщаної суміші на основі мінеральних в'язких. **Методика досліджень.** Базальтові волокна вводили в суху суміш, після чого суміш перемішували до максимально однорідного стану, з подальшим додаванням води. Як критерій рухомості розчинних сумішей для облаштування підлог застосовують два показники: рухливість і розтікання. **Основний матеріал.** Відповідно до розробленої матриці планування проведено низку експериментів. Після статистичної обробки результатів досліджень отримано рівняння регресії і побудовано діаграми взаємного впливу компонентів на властивості цементно-піщаного розчину. **Висновок.** Максимальної величини В/Ц досягає за максимального вмісту волокна 0,4 %. Чим менша довжина волокна, що вводиться, тим менший вплив діаметра волокна на В/Ц співвідношення цементно-піщаного розчину.

Ключові слова: розчини; волокна; властивості; реологія; дисперсне армування; вплив; цементно-піщана суміш

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ВОЛОКОН (МИНЕРАЛЬНЫХ, ПОЛИМЕРНЫХ) НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

КОНДРАТЬЕВА Н. В.¹, к. т. н., доц.,

МОРОЗ Л. В.², к. т. н., доц.,

МОРОЗ В. Ю.^{3*}, аспір.

¹ Кафедра химической технологии вязких материалов, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

² Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, ул. Сергея Ефремова, 25, Дніпро, Україна, e-mail: linysek-slv@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

^{3*} Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: morozdnipro@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-2435-8050

Аннотация. Постановка проблемы. Применение в качестве армирующих компонентов – металлических и полипропиленовых волокон при изготовлении смесей для устройства элементов пола, получившее в последнее время широкое распространение, не способствует снижению себестоимости таких смесей. **Цель статьи** – определить влияние базальтового волокна на реологические свойства цементно-песчаной смеси на основе минеральных вяжущих. **Методика исследований.** Базальтовые волокна вводили в сухую смесь, после чего смесь перемешивали до максимально однородного состояния, с последующим добавлением воды. В качестве критерия подвижности растворных смесей для устройства полов применяют два показателя: подвижность и растекание. **Основной материал.** В соответствии с разработанной матрицей планирования проведен ряд экспериментов. После статистической обработки результатов исследований получены уравнения регрессии и

построены диаграммы взаимного влияния компонентов на свойства цементно-песчаного раствора. **Вывод.** Максимальной величины В / Ц достигает при максимальном содержании волокна 0,4 %. Чем меньше длина вводимого волокна, тем меньше влияние диаметра волокна на В / Ц соотношение цементно-песчаного раствора.

Ключевые слова: растворы; волокна; свойства; реология; дисперсное армирование; влияние; цементно-песчаная смесь

EFFECT OF DISCRETE FIBERS (MINERAL, POLYMERIC) ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS BASED ON MINERAL BINDERS

KONDRATIEVA N.V.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
MOROZ L.V.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
MOROZ V.Yu.^{3*}, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Chemical Engineering of Binding Materials, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", 8, Naharina Ave., 49005, Dnipro, Ukraine, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

² Department of Operation of Irrigation and Drainage Systems and Construction Technology, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhiia Yefremova St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 713-51-37, e-mail: linysek-slv@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

^{3*} Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49000, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 46-93-76, e-mail: morozdnipro@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2435-8050

Abstract. Problem statement. Application as reinforcing components – metal and polypropylene fibers in the manufacture of mixtures for the arrangement of floor elements, which has recently received widespread, does not contribute to reducing the cost of such mixtures. **The purpose of the article.** To determine the influence of basalt fiber on the rheological properties of cement-sand mixture based on mineral binders. **Methods of conducting research.** The introduction of basalt fibers was carried out in a dry mixture, after which the mixture was stirred to a maximum homogeneous state, followed by the addition of water. As a criterion for the mobility of soluble mixtures for the flooring, two indicators are used: mobility and spreading. Given the high mobility of the soluble mixtures data, vibration of molds with a mixture was not carried out. The laying of samples took place the next day after the formation. Samples were stored in a bath with a hydraulic shutter for 28 days. **The main material.** In accordance with the developed planning matrix, a number of experiments were conducted. After statistical processing of the results of the research, regression equations were obtained and diagrams of the mutual influence of the components on the properties of the cement-sand solution were constructed. Water-cement ratio characterizes the mobility of the solution, which in turn determines the scope of its application. The main factors that influence the water-cement ratio are: the content of the components in the mixture, the size of sand or its granulometric composition, the humidity of the filler, as well as the specific surface of the materials. **Conclusion.** The maximum value of water-cement ratio reaches a maximum fiber content of 0.4 %. The smaller the length of the introduced fiber, the less the effect of the diameter of the fiber on the water-cement ratio of the cement-sand solution. An increase in the length of the basalt fiber leads to a more sharp increase in the ratio of water-cement to the sand solution. A more sharp increase of the indexes of cement-sand solution, due to the increase in the diameter of the reinforcing component, is observed with a fiber content of more than 0.2 %.

Keywords: solutions; fibers; properties; rheology; disperse reinforcement; influence; cement-sand mixture

Постановка проблеми. Штучні кам'яні матеріали, у силу своїх особливостей, мають міцність на розрив за вигину практично на порядок нижчу міцності за стиску, а також характеризуються утворенням усадкових тріщин під час тверднення.

Дисперсне армування та зміцнення безперервними волокнистими арматурами змінює поведінку штучних каменів, надаючи їм підвищену стійкість до розтріскування, згину і розривного навантаження, дозволяє створити

необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції, навіть після появи наскрізних тріщин.

Застосування як армувальних компонентів металевих і поліпропіленових волокон для виготовлення сумішей для облаштування елементів підлоги, що одержало останнім часом значне поширення, не сприяє зниженню собівартості таких сумішей. Це пов'язано з тим, що застосування поліпропіленового волокна постає додатковим засобом для

контролю за пластичним осіданням та усунення усадкових тріщин армованої суміші [7].

Поліпропіленове волокно через свої недоліки (деформацію за невеликих навантажень, розтягання, старіння і т. п.) може бути застосоване тільки як вторинне армування і не заміняє конструктивну арматуру, тим самим впливаючи лише на процес твердіння суміші, але не на всі властивості затверділого матеріалу [4; 8]. Використовувати металеву фібру для армування сухих будівельних сумішей досить важко через її конструктивні особливості [5].

Мета статті – визначити вплив базальтового волокна на реологічні властивості цементно-піщаної суміші на основі мінеральних в'язучих.

Методика досліджень. Базальтові волокна вводили в суху суміш, після чого суміш перемішували до максимально однорідного стану з подальшим додаванням води.

Як критерій рухливості розчинних сумішей для облаштування підлог застосовують два показники: рухливість і розтікання.

Рухливість (занурення стандартного конуса) визначають для сумішей, які застосовують під час облаштування стяжки підлоги.

Розтікання – для сумішей, які застосовують під час облаштування покриттів і прошарків підлоги. У разі застосування для облаштування елементів підлоги цементно-піщаних, гіпсових розчинів, дисперсно-армованих волокнами, визначити рухливість суміші зануренням стандартного конуса досить важко. Така методика може давати значну похибку в результатах досліджень. Тому рухливість розчинної суміші визначалася по величині розтікання [2].

Для визначення стандартної – контрольної величини розтікання спочатку обчислили величину рухливості цементно-піщаного розчину, не армованого дискретними волокнами [3]. Після чого

рухливість привели до величини розтікання і взяли за контрольну.

З огляду на високу рухливість цих розчинних сумішей, вібрування форм із сумішшю не проводилось. Розпалубка зразків здійснювалася на наступну добу після формування. Зразки зберігалися у ванні з гідравлічним затвором протягом 28 діб.

Основний матеріал. Відповідно до розробленої матриці планування проведено низку експериментів. Для кожного складу суміші визначено показники основних властивостей розчинних сумішей: В/Ц співвідношення, міцність за вигину та міцність за стиску у віці 3 і 28 діб.

Отримані результати випробувань складів сумішей наведені в таблиці. Після статистичної обробки результатів досліджень отримано рівняння регресії і побудовано діаграми взаємного впливу компонентів на властивості цементно-піщаного розчину (рис.).

Рівняння регресії водоцементного співвідношення має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0,888 - 0,0069 X_1 + 0,0244 X_2 - \\ & - 0,056 X_3 + 0,0069 X_4 + 0,11 X_1 X_2 - \\ & - 0,0031 X_1 X_3 + 0,00188 X_1 X_4 + 0,0031 X_2 X_3 \\ & + 0,0244 X_2 X_4 + 0,011 X_3 X_4 + 0,101 X_2 X_1 X_4 + \\ & + 0,103 X_1 X_2 X_3 - 0,00062 X_2 X_3 X_4 + \\ & + 0,1044 X_1 X_2 X_3 X_4 \end{aligned}$$

Діаграма впливу довжини і діаметра, а також вмісту базальтового волокна і вмісту цементу в суміші на В/Ц співвідношення показано на рисунку.

Співвідношення В/Ц характеризує рухливість розчину, що, у свою чергу, визначає сферу його застосування. Основні фактори, які впливають на показник В/Ц співвідношення, такі: вміст компонентів у суміші, модуль крупності піску або його гранулометричний склад, вологість заповнювача, а також питома поверхня матеріалів. Сухі будівельні суміші на основі мінеральних в'язучих, після додавання води або інших замішувачів, являють собою складні багатокомпонентні системи, що складаються із дрібнозернистих часток

в'язучого, заповнювача, води, залученого повітря та добавок.

Якість розчинів, технологія нанесення розчинної суміші багато в чому залежать від властивостей складових і структури суміші, що визначають наявність сил молекулярного зчеплення в'язкого і сухого тертя, капілярних сил та інших властивостей, що надають зв'язності суміші та визначальних згодом фізико-механічних і хімічних властивостей затверділого розчину.

Розчини являють собою мезоструктуру двокомпонентної системи, що складається із цементного тіста і заповнювача [1; 6] і займають проміжне положення між грузлими рідинами і твердими тілами.

Вміст частинок заповнювача значно впливає на в'язкість системи. У разі збільшення вмісту заповнювача частинки стикаються і перекривають одна одну, у результаті в'язкість системи збільшується і тоді консистенція розчину залежить від насичення його твердою фазою.

Таблиця

Результати випробування складів сумішей «розчин + базальтове волокно» /
Results of the test of compound compositions "solution + basalt fiber"

№	В/Ц	R _{виг.} , МПа		R _{ст.} , МПа	
		3 діб	28 діб	3 діб	28 діб
1	0,89	1,9	4,6	5,9	18,5
2	0,82	2,1	3,15	4,65	15,1
3	0,82	1,53	3,96	3,7	10,3
4	0,9	1,3	3,75	2,57	10,8
5	0,93	1,03	3,02	2,5	9,8
6	0,93	1,2	3,3	2,2	9,5
7	0,87	2,5	3,2	7,2	9,7
8	0,95	0,8	3,45	2,1	9,2
9	0,82	3,5	2,9	10,3	9,2
10	0,98	1,5	2,8	3,23	7,4
11	0,98	1,2	3,4	2,8	9,9
12	0,76	3,5	3,46	11,7	14,1
13	0,86	2,75	3,1	8,5	14,4
14	0,95	1,6	3,1	3,2	10,7
15	0,93	0,9	2,7	2,9	8,9
16	0,82	3,1	3,2	9,5	14,8

У розчині мінеральне в'язуче у вигляді тіста покриває поверхню заповнювача і тоді зрушення системи відбувається через прошарки між зернами, товщина яких визначається розміром заповнювача і шаром цементної пасти. Зі збільшенням В/Ц в'язкість розчину зменшується за рахунок збільшення товщини шару між зернами матеріалу, що викликає зниження тертя між шарами.

Розглядаючи двофазну систему «цементна паста – заповнювач», можна констатувати, що параметри заповнювача впливають на вміст цементної пасти і відповідно В/Ц співвідношення розчину. Нестача в'язучого у певних умовах збільшує в'язкість і знижує міцність затверділої системи. Збільшення кількості

в'язучого відповідно підвищує В/Ц співвідношення та міцнісні характеристики, але до певної межі.

Для піщаних сумішей теоретично потрібне максимально щільне пакування зерен заповнювача і мінімальна кількість пасти для обволікання зерен піску і надалі їх міцного з'єднання в єдиний каркас. Пластичність при цьому залежить від форми і поверхні зерен. Пластична деформація системи можлива завдяки зрушенню рідкого середовища.

Напруга зрушення τ , за швидкості деформації v буде пропорційна відносній відстані між твердими частками:

$$\tau = h / h_0, \quad (1)$$

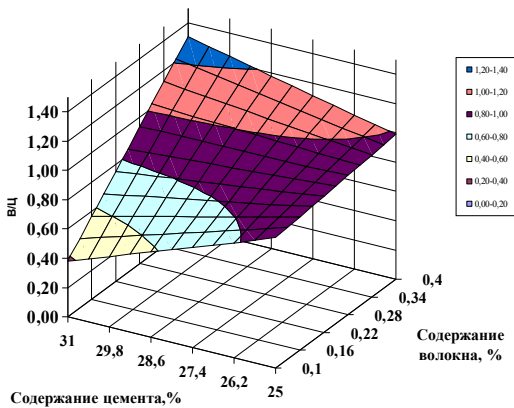
де h – товщина прошарку; h_0 – товщина контактного шару.

Отже, співвідношення обсягу твердої і рідкої фази визначає ступінь в'язкості розчину і відповідно В/Ц відношення.

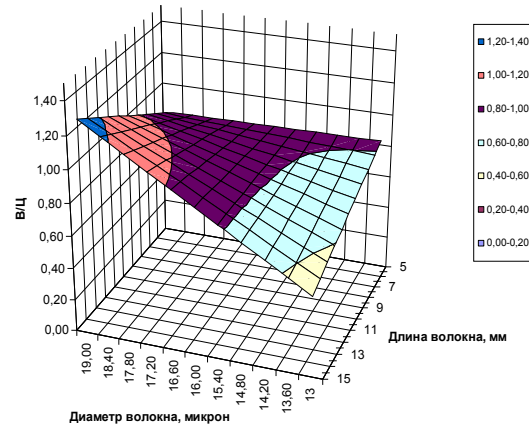
Напруга зрушення може бути представлена реологічним рівнянням ньютонівської рідини:

$$\tau = \eta \frac{du}{dr}, \quad (2)$$

де τ – напруга зрушення; du/dr – градієнт швидкості по перетину потоку.



а



б (b)

Рис. Залежність В/Ц співвідношення розчину суміші від вмісту цементу і вмісту базальтового волокна (а), довжини і діаметра (б) базальтового волокна. / Fig. The dependence of the water–cement ratio of the mixture solution on the content of the cement and the content of the basalt fiber (a), the length and diameter (b) of the basalt fiber

Уведення волокон викликає збільшення деформації напруги, відповідно в'язкості, тому для посилення пластичності потрібне підвищення В/Ц співвідношення.

Структура суміші, дисперсно-армованої волокнами, являє собою двофазну систему «рідка + тверда фаза». Але систему можна розглядати, як двофазну тільки у випадку, якщо довжина волокон не перевищує 1,5...2 діаметра заповнювача. Подальше збільшення довжини волокон переводить систему в трифазну, тобто суміш за своїми властивостями подібна бетонним [1; 6]. Таким чином, залежність в'язкості розчину можна розглядати як функцію параметрів волокон:

$$\eta = f(l, d, \mu), \quad (3)$$

де l – довжина волокна; d – діаметр волокна; μ – вміст волокна.

Якщо розглядати різні типи волокон, то варто було б урахувати також і модуль пружності ϵ .

Розглядаючи результати досліджень спробуємо встановити вплив таких

факторів: вміст в'язучого, кількість волокон, їх довжина й діаметр на вихідні параметри: В/Ц співвідношення розчину, міцність за вигину й міцність за стиску.

Вихідний параметр – В/Ц як фактор рухливості розчинної суміші, що забезпечує необхідну легковкладальність.

Зміна В/Ц буде істотно впливати на міцність та експлуатаційні характеристики цементно-піщаного розчину. Аналіз діаграми (рис.) показав, що збільшення кількості базальтового волокна з 0,1 до 0,4 % у розчинній суміші викликає збільшення співвідношення В/Ц або посилення в'язкості суміші.

Вплив кількості дискретних волокон на в'язкість розчину підвищується за вмісту цементу понад 28 %. Ймовірно, це пов'язано зі збільшенням питомої поверхні сухої суміші, а також із тим, що суміш насичується більш інтенсивно твердою фазою.

Висновок. Максимальної величини співвідношення В/Ц досягає за максимального вмісту волокна 0,4 %.

Інтенсивний приріст із В/Ц у разі збільшення вмісту в суміші базальтового волокна довжиною понад 9 мм свідчить про те, що система із двофазної переходить у трифазну в межах 6...9 мм для даного діаметра. Тобто волокна начебто утворюють свій шар. Слід також зазначити, що за вмісту волокна менше 0,25 % зміна його довжини незначно впливає на В/Ц.

Подальше насичення розчину волокнами сприяє підвищенню в'язкості і, відповідно, для збереження рухливості розчину потрібне збільшення кількості рідкої фази, а це викликає підвищення співвідношення В/Ц. Збільшення довжини базальтового волокна спричинює більш

різке збільшення В/Ц співвідношення цементно-піщаного розчину, за діаметру волокна понад 16 мікронів, у зв'язку зі збільшенням жорсткості волокон, що викликає зростання сил тертя між часточками матеріалу, а також збільшується тертя між шарами розчину.

Більш різкий приріст показників В/Ц, внаслідок збільшення діаметра армувального компонента, спостерігається за вмісту волокна понад 0,2 %. Чим менша довжина волокна, що вводиться, тим менший вплив його діаметра на В/Ц співвідношення цементно-піщаного розчину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волженский А. В. Структурная пористость и теплофизические показатели неавтоклавного микропорита / А. В. Волженский, И. И. Бабкина // Строительные материалы. – 1983. – № 11. – С. 13–18.
2. ДСТУ П Б. В. 2.7 – 126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови». – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 59 с. – Режим доступу : http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTU1/dstu_b_v.2.7-126-2011.pdf
3. ДСТУ Б В.2.7-239:2010 «Розчини будівельні. Методи випробувань». – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 38 с. – Режим доступу : http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=26750
4. Лаукайтис А. А. Прогнозирование некоторых свойств ячеистого бетона низкой плотности / А. А. Лаукайтис // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 27–29.
5. Современное производство ячеистых бетонов и их применение в строительстве : обзорная информация / [В. В. Макаричев, Г. В. Краснова, М. Я. Кривичкий]. – Сер. 8. – Вып. 3. – Москва : ВНИИЭСМ, 1981. – 38 с.
6. Моргун Л. В. Эффективность применения фибропенобетона в современном строительстве / Л. В. Моргун // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 16–17.
7. Удачкин И. Б. Ключевые проблемы развития производства пенобетона / И. Б. Удачкин // Строительные материалы. – 2002. – № 23. – С. 8–9.
8. Удовенко Р. П. Проблемы энергосбережения в Украине / Р. П. Удовенко // Будівництво України. – 1997. – № 1. – С. 26–28.

REFERENCES

1. Volzhenskij A.V. and Babkina I.I. *Strukturnaja poristost' i teplofizicheskie pokazateli neavtoklavnogo mikroporita* [Structural porosity and thermophysical indicators of non-autoclaved microporite]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1983, vol. 11, pp. 13–18. (in Russian).
2. *DSTU P B. V. 2.7 – 126:2011. Sumishi budivel'ni suhi modifikovani. Zagal'ni tehnicni umovi* [Construction dry mixes modified. General technical conditions]. Kyiv: Minregionbud Ukraine, 2011, 59 p. (in Ukrainian).
3. *DSTU B V.2.7-239:2010. Rozchini budivel'ni. Metodi viprobuvan* [Building solutions. Test methods]. Kyiv : Minregionbud Ukraine, 2010, 38 p. (in Ukrainian).
4. Laukajtis A.A. *Prognozirovanie nekotoryh svojstv jacheistogo betona nizkoj plotnosti* [Prediction of some properties of low density cellular concrete] *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2001, no. 4, pp. 27–29. (in Russian).
5. Makarichev V.V., Krasnova G.V. and Krivickij M.Ja. *Sovremennoe proizvodstvo jacheistyh betonov i ih primenenie v stroitel'stve : obzor. inform.* [Modern production of cellular concretes and their application in construction: overview information]. Moscow : VNIIESM, 1981, ser. 8, vol. 3, 38 p. (in Russian).
6. Morgun L.V. *Effektivnost' primenenija fibropenobetona v sovremennom stroitel'stve* [The effectiveness of fibropenobetona in modern construction] *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2002, vol. 3, pp. 16–17. (in Russian).
7. Udachkin I.B. *Kljuchevye problemy razvitija proizvodstva penobetona* [Key problems in the development of foam concrete production]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2002, vol. 23, pp. 8–9. (in Russian).
8. Udovenko R.P. *Problemy jenergosberezhenija v Ukraine* [Problems of energy saving in Ukraine]. *Budivnictvo Ukraini* [Construction of Ukraine]. 1997, vol. 1, pp. 26–28. (in Russian).

Надійшла до редакції: 02.05.2019 р.

УДК 504.05/06

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.73.466

EVALUATION OF PARTICLE CONCENTRATION IN A DIESEL CAR : EXPOSURE OF DRIVER AND PASSENGERS

LIMAM K.^{1*}; *Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

DOUMONGUE M.²; *Stud.*,

BOULBAIR A.³; *Stud.*,

BENABED A.⁴; *Postgrad. Stud.*

^{1*} Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle Cedex 01, France, tel. +33-5-46-45-86-23, e-mail : klimam01@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0002-1534-4565

² Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle Cedex 01, France, tel. +33-5-46-45-72-72, e-mail : mba.ddumongue@etudiant.univ-lr.fr

³ Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle Cedex 01, France, tel. +33-5-46-45-72-72, e-mail : amir.boulbair1@univ-lr.fr

⁴ Laboratory of Engineering Sciences for Environment (LaSIE), University of La Rochelle, Ave. M. Crépeau, 17042, La Rochelle Cedex 01, France, tel. +33-5-46-45-72-72, e-mail : ahmed.benabed@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0003-4283-3636

Abstract. Problem statement. Our study is part of the field of Internal Environmental Quality (IEQ) of confined atmospheres. Its essence is to position the level of particle pollution in a diesel powered car. As a comparative analysis compared to the normative data, this study makes it possible to highlight the exposure of the driver and the passengers and to evaluate the health risk posed by the detected levels. **Methods.** In order to highlight the level of exposure to particles, drivers and users of cars, we conducted an experiment to quantify particle concentrations in a diesel vehicle in a static position following a protocol highlighting the influence of starting the engine. A metrology was implemented, mobilizing two different particle counters (GRIMM and OPC ALPHASENSE). **Conclusions.** The various measurements show that the levels of exposure to PM1 particles are low in both cases and in good safety conditions against the standards. The levels measured pose no risk to the health of users.

Keywords: *particle pollution; environmental quality; health risk; air quality standards; diesel vehicle*

ОЦІНКА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТИНОК У ДИЗЕЛЬНОМУ АВТОМОБІЛІ: ВПЛИВ НА ВОДІЯ І ПАСАЖИРІВ

ЛІМАМ К.^{1*}; *д. т. н., проф.*,

ДУМАНЖ М.²; *студ.*,

БУЛБАР А.³; *студ.*,

БЕНАБЕД А.⁴; *аспірант*

^{1*} Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, tel. +33-5-46-45-86-23, e-mail : klimam01@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0002-1534-4565

² Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : mba.ddumongue@etudiant.univ-lr.fr

³ Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : amir.boulbair1@univ-lr.fr

⁴ Лабораторія інженерних наук з навколишнього середовища, Університет Рошель, пр. М. Крепо, 23, 17042, Ля-Рошель CEDEX 01, Франція, phone: +33-5-46-45-72-72, e-mail : ahmed.benabed@univ-lr.fr, ORCID ID: 0000-0003-4283-3636

Анотація. Постановка проблеми. Дослідження є частиною сфери якості замкнутого середовища. Його суть полягає в визначенні рівня частинок в повітрі дизельного автомобіля. Виконано порівняльний аналіз з нормативними даними. Дослідження дає змогу показати вплив на водія та пасажирів та оцінити ризик для здоров'я, пов'язаний з виявленими рівнями. Для моніторингу концентрацій забруднюючих речовин були використані два типи лічильників частинок. Ці фотометри (оптичні системи з лазерними променями) призначені для негайного або тривалого вимірювання рівнів часток у повітрі. Вони дозволяють миттєво і безперервно вимірювати масову концентрацію і розмір частинок пилу. Розмір вимірюваних частинок змінюється від 0,3 до 20 мкм в діаметрі. Вимірювання концентрації здійснюються одночасно на 16 каналах сканування діаметром 0,3...20 мкм. Зважаючи на розмір частинок, ми зосередилися на діапазоні 0,3...1 мкм. Спостерігається явне збільшення рівня частинок в перші хвилини тесту. З самого початку роботи транспортного засобу спостерігається дегресивна тенденція. Це прискорюється початком двох фаз вентиляції, що, очевидно, викликало зниження рівня частинок. Зупинка вентиляції призводить до зростання концентрацій, що підсилюється зупинкою двигуна і більш-менш відкриттям вікон. Слід зазначити, що рівні частинок дуже

низькі і не становлять жодного ризику для людини, з урахуванням граничного значення, визначеного Всесвітньою організацією охорони здоров'я. **Висновок.** Для того, щоб підкреслити рівень впливу частинок на водіїв та користувачів автомобілів, ми провели експеримент для кількісного визначення концентрації частинок у дизельному транспортному засобі в статичному положенні після запуску двигуна. Впроваджено метрологію, що використовує два різних лічильника частинок. Різні вимірювання показують, що рівні впливу частинок є низькими і відповідають вимогам стандартів. Виміряні рівні не становлять ризику для здоров'я користувачів.

Ключові слова: забруднення частинками; якість навколишнього середовища; ризик для здоров'я; стандарти якості повітря; дизельний автомобіль

Introduction. Humans spend more than 80 % of their time in confined environments. These are mainly indoor environments of buildings used for housing or offices but also means of transport such as buses or personal cars. Within these environments and given the activities they conduct, individuals are exposed to relatively high pollution thresholds [1].

The majority of cities around the world experience periods when high levels of air pollution exceed international air quality standards based on health. Some of the highest levels of air pollution can be found in expanding cities such as Delhi, in developing countries. Exposure to high concentrations is related to a wide range of acute and chronic health effects in adults and children depending on the constituents of the pollutants [2–5].

It is now accepted that particles play an important role in the health effects of air pollution. Faced with this health issue, French and European regulations are evolving, with the definition of reduction targets aimed at limiting atmospheric concentrations and limiting the potential exposure of people [6].

The majority of the scientific studies carried out on vehicle pollution concentrate on the emissions they emit, because, in spite of the tightening of the polluting emissions requirements of vehicles, the problem remains particularly relevant for the cities of the world. European Union, United States and Russia [7].

Since air renewal processes, including in vehicles, use outdoor air, we have decided, in this article, to characterize the level of particulate pollution in a diesel engine with the engine running. This paper presents the results obtained and their positioning in relation to the standards in force and concludes on the exposure of the driver and the users to the measured thresholds.

Metrology and experimental protocol. As part of a static experiment, we mobilized a WOLKSWAGEN brand vehicle model GOLF with diesel engine. The mania was conducted on the parking lot near the street of the staysail in La Rochelle in France, as illustrated in the image below, the red spot indicating the exact point of positioning of the vehicle used.



Fig. 1. Location of the experimental site



Fig. 2 : Positioning of metrology



Fig. 3 : OPC ALPHASENSE N3

In order to monitor pollutant concentrations, two types of particle counters were used:

GRIMM 1.108 :

In order to monitor pollutant concentrations, two types of particle counters were used: – These photometers (optical systems with laser beams) are intended for the immediate or long-term measurement of the levels of particles in the air. They allow the instantaneous and continuous measurement of the mass concentration and the particle size of the dust. The size of the particles measured varies from 0,3 to 20 μm in diameter. Concentration measurements are carried out simultaneously on 16 channels scanning 0,3...20 μm diameters. In view of the particle size present we focused on the range: 0,3...1 μm . A Grimm apparatus was used and

positioned on the cockpit as shown in Figure 2 below.

OPC ALPHASENSE N3

It is a particle counter that allows an assessment of the concentration of particles in the air. This device allows the instantaneous measurement of PM10, PM2.5 and PM1 particle concentrations exclusively. Our study focused on the measurement of PM1, which corresponds to fine particles, which are more harmful to health because of their ability to sink to the bottom of the lungs, even into the alveoli. The OPC is visible in Figure 2 (placed on the GRIMM). However, Figure 3 below illustrates this more clearly.

For the purpose of this experiment, we put in place a very precise and well-defined protocol, which we carried out over a five minute tent period. This protocol is detailed in the following table.

Table

Measurement protocol

Schedule	Activities
11h08	Beginning of the experiment / start of counters / closed windows
11h13	Starting the vehicle
11h18	Ignition of ventilation (medium speed) / Figure 4
11h23	Acceleration of ventilation (full speed) / Figure 5
11h28	Cut off ventilation
11h33	Engine shutdown
11h38	Opening windows
11h43	Closing windows / End of the experiment



Fig. 4: Medium-cycle Ventilation



Fig. 5: Full-Flow Ventilation

Results and discussions. After discharge of our devices we obtain the following results:

GRIMM

This graph illustrates the evolution of the level of particles measured over the period of the test. There are significant variations according to the various sequences (1 to 7) of the protocol implemented. A large particle distribution is noticeable. In any case, we measure particle levels very appreciable under the international regulations in force (the World Health Organization recommends $25 \mu\text{m}^3$ for a 24-hour exposure).

OPC ALPHASENSE N3

In the graph below, there is an obvious increase in the level of particles in the first

minutes of the test. A degressive trend is observed from the start of the vehicle. This is accelerated by the start of the two phases of the ventilation which obviously caused the flop of the level of particles. The breakdown of the ventilation causes a rise in concentrations which is boosted by the engine shutdown and more or less by the opening of the windows. It should be noted that PM1 particle levels are very low and do not pose any risk to the individual despite their fluctuations through the phases of our measurement protocol; in view of the threshold value defined by the World Health Organization (WHO) for 24-hour exposure, ie $25 \mu\text{m}^3$.

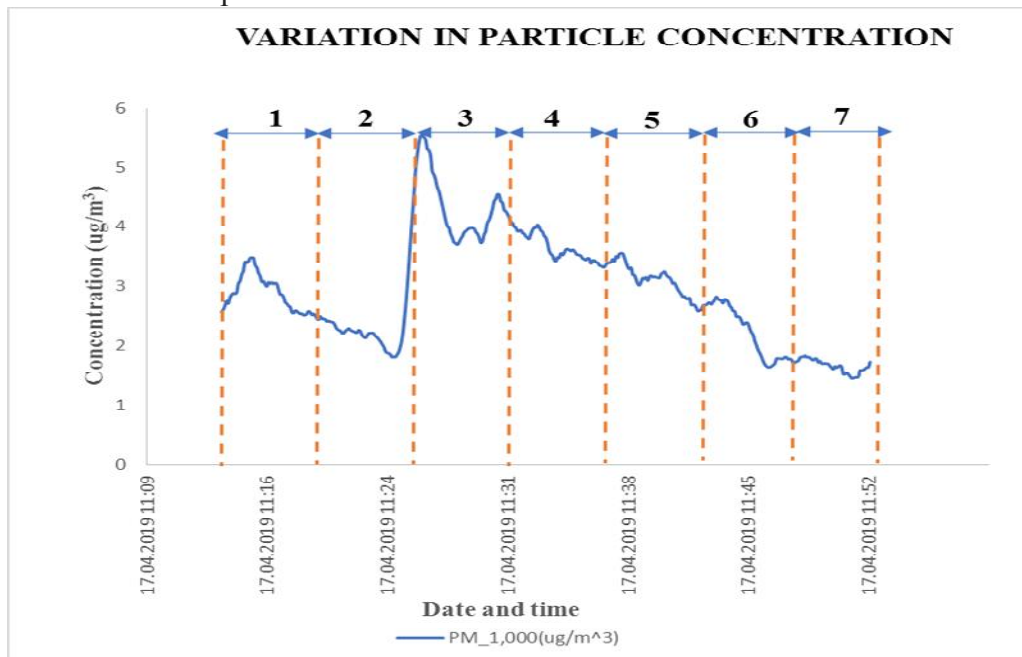


Fig. 6 : Variation in particle concentration measured by the Grimm

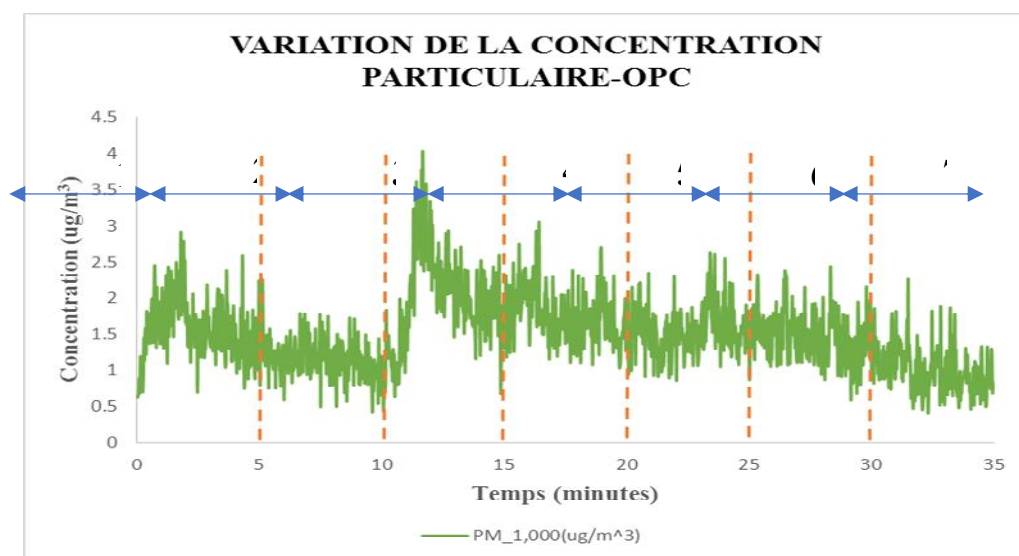


Fig. 7 : Variation in particule concentration measured by the OPC

Conclusion. In order to highlight the level of exposure to particles, drivers and users of cars, we conducted an experiment to quantify particle concentrations in a diesel vehicle in a static position following a protocol highlighting the influence of starting the engine. A metrology was implemented, mobilizing two

different particle counters (GRIMM and OPC ALPHASENSE). The various measurements show that the levels of exposure to PM1 particles are low in both cases and in good safety conditions against the standards. The levels measured pose no risk to the health of users.

REFERENCES

1. Klepeis N.E., Nelson W.C., Ott W.R., Robinson J.P., Tsang A.M., Switzer P., Behar J.V., Hern S.C., Engelmann W.H. and others. The national human activity pattern survey nhaps: a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. No. 11(3), 2001, pp. 231–252.
2. CPCB, 2009. National Ambient Air Quality Standards, Central Pollution Control Board Notification, REGD. NO. D. L.-3300499, Ministry of Environment and Forest. Available from: Government of India http://cpcb.nic.in/National_Ambient_Air_Quality_Standards.php (accessed 17.06.2016).
3. Kumar P., Jain S., Gurjar B.R., Sharma P., Khare M., Morawska L. and Britter R. New Directions: can a “blue sky” return to Indian megacities? *Atmos. Environ.* 2013, no. 71, pp. 198–201.
4. Kumar P., Khare M., Harrison R.M., Bloss W.J., Lewis A.C., Coe H. and Morawska L. New directions: air pollution challenges for developing megacities like Delhi. *Atmos. Environ.* 2015, no. 122, pp. 657–661.
5. Kumar P., Rivas I. and Sachdeva L. Exposure of in-pram babies to airborne particles during morning drop-in and afternoon pick-up of school children. *Environ. Pollut.* 2017, no. 224, pp. 407–420.
6. Synthesis of knowledge on airborne particles. Airparif, 2008.
7. Franco V., Zacharopoulou T., Hammer J. et al. Evaluation of Exhaust Emissions from Three Diesel-Hybrid Cars and Simulation of AfterTreatment Systems for Ultralow Real-World NOx Emissions. *Environ Sci Technol* 2016, no. 50(23), pp. 13151–13159. Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03585>.

Надійшла до редакції: 15.06.2019 р.

УДК 539.4:616.71-001.5-089.2+621.882.1/2
DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.78.467

ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ ВЕКТОРА НАВАНТАЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ БІОДЕГРАДУЮЧОГО ГВИНТА ДЛЯ БЛОКУВАЛЬНОГО ІНТРАМЕДУЛЯРНОГО ОСТЕОСИНТЕЗУ

ПАНЧЕНКО С. П.^{1*}, к. т. н., доц.,
ЯЦУН Є. В.², асист.,
ЗЕМСЬКА Є. О.³, студ.,
ГОЛОВАХА М. Л.⁴, д. мед. н., проф.

^{1*} Кафедра будівельної механіки та опору матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-22, e-mail: panchenko.serhii@pgasa.dp.ua

² Кафедра травматології та ортопедії, Запорізький державний медичний університет, пр. Маяковського, 26, 69035, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (061) 224-64-69, e-mail: zsmu@zsmu.zp.ua

³ Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-22, e-mail: zemskey.liz@gmail.com

⁴ Кафедра травматології та ортопедії, Запорізький державний медичний університет, пр. Маяковського, 26, 69035, Запоріжжя, Україна, +38 (0612) 24-64-69, e-mail: zsmu@zsmu.zp.ua

Анотація. Постановка проблеми. Діафізарні переломи великогомілкової кістки посідають провідне місце серед переломів довгих трубчастих кісток. Наразі лікарі віддають перевагу малоінвазивним методам остеосинтезу, які не пов'язані з нанесенням додаткової травми м'яким тканинам в області перелому. Найбільш ефективний метод остеосинтезу при діафізарних переломах великогомілкової кістки – закритий блокувальний інтрамедулярний остеосинтез (БІОС). Перевагами закритого БІОС вважаються його мінімальна травматичність, а також можливість раннього навантаження на зламану кінцівку. Оскільки для консолідації перелому дуже важливо, щоб система кістка – імплантат перебувала в постійному динамічному напруженні, іноді виникає необхідність у виконанні операції з динамізації перелому, яка полягає у видаленні блокувального гвинта. Поліпшити результати лікування пацієнтів із позасуглобовими переломами великогомілкової кістки можна шляхом застосування гвинтів, виготовлених із біодеградуючих матеріалів. Ці матеріали можуть розчинятися згодом. При цьому знижуються їх характеристики міцності. Таким чином, біодеградуючі гвинти після певного часу при їх навантаженні можуть бути зламані, тобто дадуть можливість виконання етапної динамізації перелому в задані терміни. **Мета статті** – оцінювання впливу величини кута нахилу вектора навантаження на міцність гвинта, виготовленого з біодеградуючого сплаву, який використовується при БІОС. **Висновок.** У результаті дослідження отримано функцію нормальних напружень, що виникають у небезпечному перетині гвинта, залежно від величини кута нахилу вектора навантаження. Аналіз зазначеної функції показав, що нормальні напруження досягають екстремальних значень за величин кута близьких до 90°. Отримані результати вказують на те, що як розрахункову схему можна використовувати модель, в якій навантаження перпендикулярне осі гвинта.

Ключові слова: гвинт; стержень; зусилля; напруження; розрахункова схема; остеосинтез; біодеградуючий матеріал; міцність

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ВЕКТОРА НАГРУЗКИ НА ПРОЧНОСТЬ БИОДЕГРАДИРУЮЩЕГО ВИНТА ДЛЯ БЛОКИРУЮЩЕГО ИНТРАМЕДУЛЯРНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА

ПАНЧЕНКО С. П.^{1*}, к. т. н., доц.,
ЯЦУН Е. В.², асист.,
ЗЕМСКАЯ Е. А.³, студ.,
ГОЛОВАХА М. Л.⁴, д. мед. н., проф.

^{1*} Кафедра строительной механики и сопротивления материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-22, e-mail: panchenko.serhii@pgasa.dp.ua

² Кафедра травматологии и ортопедии, Запорожский государственный медицинский университет, пр. Маяковского, 26, 69035, Запорожье, Украина, тел. +38 (061) 224-64-69, e-mail: zsmu@zsmu.zp.ua

³ Государственное высшее учебное заведение «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-22, e-mail: zemskey.liz@gmail.com

⁴ Кафедра травматологии и ортопедии, Запорожский государственный медицинский университет, пр. Маяковского, 26, 69035, Запорожье, Украина, тел. +38 (0612) 24-64-69, e-mail: zsmu@zsmu.zp.ua

Аннотация. Постановка проблемы. Диафизарные переломы большеберцовой кости занимают ведущее место среди переломов длинных трубчатых костей. На сегодняшний день врачи отдают предпочтение малоинвазивным методам остеосинтеза, которые не связаны с нанесением дополнительной травмы мягким тканям в области перелома. Наиболее эффективным методом остеосинтеза при диафизарных переломах большеберцовой кости является закрытый блокирующий интрамедуллярный остеосинтез (БИОС). Преимуществами закрытого БИОС считаются его минимальная травматичность, а также возможность ранней нагрузки на сломанную конечность. Так как для консолидации перелома очень важно, чтобы система кость – имплантат пребывала в постоянном динамическом напряжении, иногда возникает необходимость в выполнении операции по динамизации перелома, которая заключается в удалении блокирующего винта. Улучшить результаты лечения пациентов с внесуставными переломами большеберцовой кости можно путем применения винтов, изготовленных из биodeградирующих материалов. Эти материалы могут растворяться со временем. При этом снижаются их прочностные характеристики. Таким образом, биodeградирующие винты после определенного времени при их нагружении могут быть сломаны, т. е. дадут возможность выполнения этапной динамизации перелома в заданные сроки. **Цель статьи** – оценка влияния величины угла наклона вектора нагрузки на прочность винта, изготовленного из биodeградирующего сплава, который используется при БИОС. **Вывод.** В результате выполненного исследования получена функция нормальных напряжений, возникающих в опасном сечении винта, в зависимости от величины угла наклона вектора нагрузки. Анализ указанной функции показал, что нормальные напряжения достигают экстремальных значений при величинах угла близких к 90°. Полученные результаты указывают на то, что в качестве расчетной схемы можно использовать модель, в которой нагрузка перпендикулярна оси винта.

Ключевые слова: винт; стержень; усилие; напряжние; расчетная схема; остеосинтез; биodeградирующий материал; прочность

INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCLINATION OF THE LOAD VECTOR ON THE STRENGTH OF THE BIODEGRADABLE SCREW FOR BLOCKING INTRAMEDULLARY OSTEOSYNTHESIS

PANCHENKO S.P.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
 YATSUN Ye.V.², *Assistant*,
 ZEMSKA Ye.O.³, *Student*,
 HOLOVAKHA M.L.⁴, *Dr. Sc. (Med.), Prof.*

^{1*} Chair of building mechanics and strength of materials, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 46-98-22, e-mail: panchenko_serhii@pgasa.dp.ua

² Chair of traumatology and orthopedics, Zaporizhzhya State Medical University, 26, Majakovskoho Ave., 69035, Zaporizhia, Ukraine, phone: +38 (061) 224-64-69, e-mail: zsmu@zsmu.zp.ua

³ State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 46-98-22, e-mail: zemskey.liz@gmail.com

⁴ Chair of traumatology and orthopedics, Zaporizhzhya State Medical University, 26, Majakovskoho Ave., 69035, Zaporizhia, Ukraine, phone: +38 (0612) 24-64-69, e-mail: zsmu@zsmu.zp.ua

Abstract. Problem statement. Diaphyseal fractures of the tibia occupy a leading place among the fractures of the long tubular bones. Today, doctors prefer minimally invasive osteosynthesis methods that are not related to the application of additional injury to the soft tissues in the area of the fracture. The most effective method of osteosynthesis, with diaphyseal fractures of the tibia, is a closed blocking intramedullary osteosynthesis (BIOS). The advantages of a closed BIOS are its minimal invasiveness, as well as the possibility of an early load on a broken limb. Since it is very important for the consolidation of a fracture that the bone implant system be in constant dynamic stress, it sometimes becomes necessary to perform a fracture dynamization operation, which consists in removing the locking screw. It is possible to improve the results of treatment of patients with extra-articular tibial fractures by using screws made of biodegradable materials. The essence of these materials is that they can dissolve over time. This reduces their strength characteristics. Thus, after a certain time the biodegradable screws can be broken when loaded, i.e. will enable the implementation of a staged dynamization of a fracture at a given time. **Purpose.** Assessment of the influence of the value of the angle of inclination of the vector of the load on the strength of a screw made of a biodegradable alloy, which is used in BIOS. **Conclusion.** As a result of the study, a function of normal stresses arising in a dangerous section of the screw, depending on the magnitude of the slope of the load vector, was obtained. Analysis of this function showed that normal stresses reach extreme values when the angle values are close to 90°. The results indicate that as a design scheme, you can use a model in which the load is perpendicular to the axis of the screw.

Keywords: screw; rod; force; stress; calculation scheme; osteosynthesis; biodegradable material; durability

Постановка проблеми. Діафізарні (позасуглобні) переломи великогомілкової кістки посідають провідне місце серед переломів довгих трубчастих кісток (8,1...36,6 %) [1; 2]. У структурі інвалідності переломи гомілки складають від 7 до 37,6 % від усіх травм опорно-рухового апарату [3; 4].

Наразі лікарі віддають перевагу малоінвазивним методам остеосинтезу, які не завдають додаткової травми м'яким тканинам в області перелому. Це пов'язано з тим, що рівень репаративної регенерації кісткової тканини багато в чому визначається ступенем травмування тканин в цій області. Великі пошкодження джерел кісткоутворення спричинюють уповільнення процесу утворення кісткової мозолі і, як наслідок, уповільнення зрощення або формування помилкового суглоба [3].

Найбільш ефективний метод остеосинтезу при діафізарних переломах великогомілкової кістки – закритий блокувальний інтрамедулярний остеосинтез (БІОС). Для цього застосовуються спеціальні канюльовані (порожнисті) штифти, що мають отвори на верхньому і нижньому кінці. Через ці отвори вводяться гвинти, які проходять через кістку. За допомогою блокувальних гвинтів досягають міцної фіксації штифта в ділянках кістки вище і нижче перелому.

Зафіксовані відламки не зможуть зміщуватися по довжині, ширині і обертатися навколо своєї осі. Така методика дозволяє фіксувати як прості, так і складні (багатоосколкові) переломи. Матеріалом для виготовлення гвинтів і стержнів служать сплави титану і нержавіюча сталь.

Перевагами закритого інтрамедулярного остеосинтезу вважаються його мінімальна травматичність, а також можливість раннього навантаження на зламану кінцівку. У більшості випадків БІОС настільки стабільний, що пацієнтам дозволяється дозоване навантаження на пошкоджену кінцівку вже на наступну добу після операції. Більше того, таке навантаження стимулює формування кісткової мозолі і зрощення перелому.

Таким чином, БІОС – оптимальний варіант при переломах великогомілкової кістки, тому що, з одного боку, він найменше порушує кровопостачання кістки, а, з іншого, дозволяє давати ранне

осьове навантаження на травмовану кінцівку.

Аналіз публікацій. Для консолідації перелому дуже важливо, щоб система кістка – імплантат перебувала в постійному динамічному напруженні, яке забезпечує постійний контакт між фрагментами перелому [3; 4].

У разі уповільненої консолідації перелому для створення більш щільного контакту між кістковими уламками виникає необхідність у виконанні операції з динамізації перелому. Вона полягає у видаленні проксимального блокувального гвинта зі статичного (круглого) отвору. Це дає можливість гвинту в овальному отворі зміщуватися і дозволяє переміщатися кістковим уламкам, що зберігає їх повний контакт [5].

Поліпшити результати лікування пацієнтів із позасуглобовими переломами великогомілкової кістки можна шляхом застосування гвинтів, виготовлених із біодеградуєчих матеріалів. Суть цих матеріалів полягає в тому, що вони можуть розчинятися згодом. При цьому знижуються їх характеристики міцності. Таким чином біодеградуєчі гвинти після певного часу за їх навантаження можуть бути зламані, тобто дадуть можливість виконання етапної динамізації перелому в задані терміни.

Отже, використання зазначених гвинтів може зменшити кількість інвазивних втручань (операція з вилучення блокувального гвинта), мінімізуючи ризик уповільненої консолідації і супутніх їй ускладнень.

У праці [6] досліджувалися фактори, які впливають на міцність фіксувальних гвинтів. Установлено, що величини максимальних напружень, які визначають показники міцності гвинта, обернено пропорційні діаметру гвинта в кубі. Розрахункова модель гвинта передбачалася у вигляді балки, до якої прикладена зосереджена сила, перпендикулярна її осі.

Однак слід зауважити, що вісь великогомілкової кістки в дійсності не є строго вертикальною [7], а має невеликий

кут відхилення від вертикалі у фронтальній площині (рис. 1). Тому очевидно, що вісь штифта, який вставляється в кістку для фіксації перелому, також буде мати деяке відхилення. При цьому навантаження, яке передається від ваги тіла людини, спрямоване вертикально.

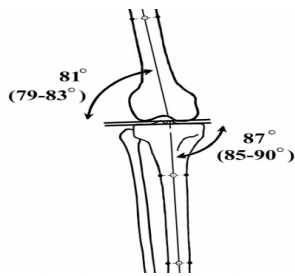


Рис. 1. Напрямок осі великогомілкової кістки / Fig. 1. Tibial axis direction

Отже, вектор навантаження, що передається через штифт на досліджуваний гвинт, буде не ортогональним йому, а перебувати під деяким кутом до осі гвинта. Очевидно, що розрахункова модель, запропонована в [6], може давати похибку під час аналізу міцності біодеградуючого гвинта. Тому в цій статті з метою оцінювання можливості використання як розрахункової схеми балки із зосередженою силою, перпендикулярною осі гвинта [6], як схема навантаження гвинта розглядається балка, до якої прикладена сила під кутом α до її осі.

Мета статті – оцінювання впливу величини кута нахилу вектора навантаження на міцність гвинта, виготовленого з біодеградуючого сплаву,

який використовується при БІОС переломів великогомілкової кістки.

Виклад матеріалу. Дослідження виконувалось із застосуванням аналітичних співвідношень опору матеріалів, а також методів будівельної механіки.

Основним об'єктом дослідження в системі інтрамедулярного остеосинтезу, використовуваного для лікування переломів великогомілкової кістки, був верхній гвинт. Для побудови його розрахункової схеми взято рентгенограми встановлених стержнів і гвинтів.

З огляду на форму досліджуваного об'єкта, як розрахункову модель запропоновано балку круглого поперечного перерізу, оперту по краях (рис. 2 а). Зауважимо, що даний гвинт установлюється у верхній частині великогомілкової кістки, де товщина кортикального шару мала (близько 3 мм), а спонгіозна тканина відсутня. Тому умови обпирання балки передбачалися шарнірними (рис. 2 б).

Зауважимо, що навантаження на даний гвинт передається від ваги людини через краї кістки (кортикальна тканина). Спирання цього гвинта здійснюється на штифт, від якого виникає реакція внаслідок спирання штифта на нижній гвинт (рис. 3). При цьому з боку штифта навантаження на гвинт передається по площинці, яка дорівнює розміру поперечного перетину штифта.



Рис. 2. Розрахункова модель гвинта / Fig. 2. Screw design model

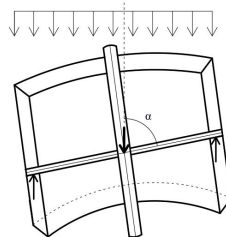


Рис. 3. Передача навантаження на гвинт / Fig. 3. Transfer load to screw

Передбачалося, що зазначена площинка навантаження розташовувалася посередині довжини гвинта. Отже, схема навантаження гвинта – балка, навантажена розподіленою силою (рис. 2).

Однак слід зауважити, що розрахунок балки з розподіленим навантаженням більш об’ємний порівняно з розрахунком балки, до якої прикладена зосереджена сила, тому на даному етапі дослідження, з метою спрощення розрахунків, навантаження на балку передбачалося у вигляді зосередженої сили.

Відповідно до мети роботи, з урахуванням запропонованих умов

обпирання, розрахункова схема гвинта являє собою шарнірно оперту балку, до якої прикладена зосереджена сила під кутом відносно її осі (рис. 4 а).

З рисунку 4 а видно, що дана балка статично невизначена. При цьому розглянута схема навантаження являє собою складну деформацію. Для аналізу НДС балки необхідно розкласти вектор зовнішнього навантаження на координатні осі (рис. 4 б).

У результаті отримано дві схеми, відповідні простим деформаціям: плоский поперечний згин (ППЗ) (рис. 5 а) і осьовий розтяг – стиск (рис. 5 б).

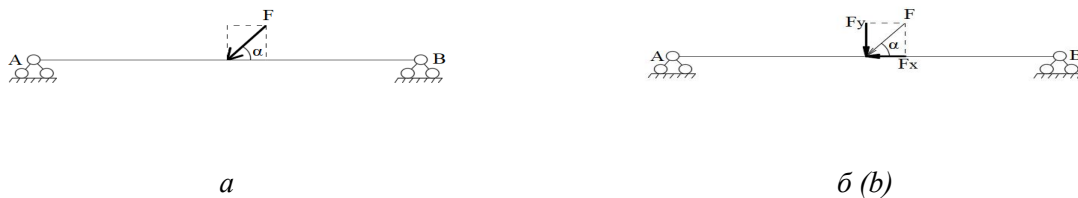


Рис. 4. Схема навантаження гвинта / Fig. 4. Screw loading scheme

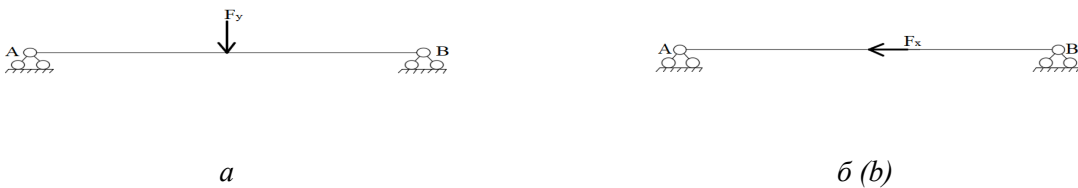


Рис. 5. Розкладання навантаження на компоненти / Fig. 5. Decomposition of the load on the components

Оскільки за ППЗ виникають тільки вертикальні складові опорних реакцій, з цієї точки зору таку балку можна розглядати як статично визначену (рис. 6), тобто розв’язок якої можна отримати за допомогою тільки рівнянь рівноваги.

Балка за осьового розтягу – стиску повинна розглядатися як статично невизначена, тому розв’язок такої схеми будуватиметься в певній послідовності.

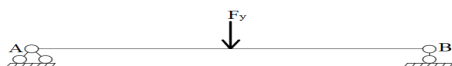


Рис. 6. Схема навантаження гвинта при ППЗ / Fig. 6. Screw loading scheme in flat transverse bend

Задача 1. Плоский поперечний згин (статично визначена система). В цьому випадку розглядається балка, навантажена посередині поперечною зосередженою силою $F_y = F \sin \alpha$ (рис. 7).

Розв’язок даної задачі отриманий в публікації [6]. Використовуючи його можна записати основні результати, беручи до уваги нове позначення навантаження.

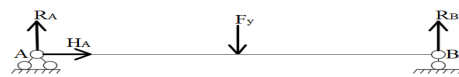


Рис. 7. Балка за ППЗ та невідомі опорні реакції / Fig. 7. Beam in flat transverse bend and unknown support reactions

Невідомі реакції R_A , R_B визначалися з рівнянь рівноваги: $R_A = \frac{F_y}{2}$, $R_B = \frac{F_y}{2}$.

Для побудови епюр зусиль балка по довжині розбивалася на ділянки. Потім на кожній з ділянок записувалися аналітичні вирази внутрішніх зусиль.

1-ша ділянка (0):

$$Q_1(x) = R_A, \quad M_1(x) = R_A * x$$

2-га ділянка ($\frac{l}{2} \leq x \leq l$):

$$Q_2(x) = R_A - F_y, \quad M_2(x) = R_A * x - F_y * (x - \frac{l}{2})$$

За результатами виконаних розрахунків побудовано епюри поперечної сили (Q) і згинального моменту (M) (рис. 8).

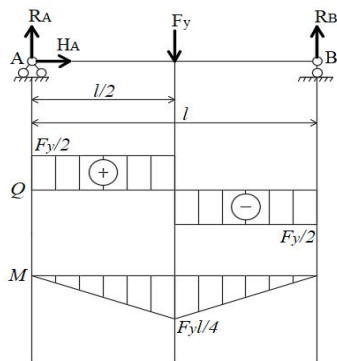


Рис. 8. Епюри внутрішніх зусиль у балці за ППЗ / Fig. 8. Plots of internal efforts in the beam in flat transverse bend

Аналіз отриманих співвідношень показав, що максимальний згинальний момент виникає в середині прольоту балки, в точці прикладання навантаження з координатою $x = \frac{l}{2}$:

$$M_{max} = M\left(\frac{l}{2}\right) = R_A * \frac{l}{2} = \frac{F_y}{2} * \frac{l}{2} = \frac{F_y * l}{4}$$

Задача 2. Осьовий розтяг-стиск (статично невизначена система). В цьому

випадку балка навантажена посередині поздовжньою силою $F_x = F \cos \alpha$ (рис. 9).

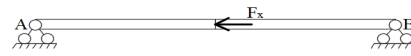


Рис. 9. Схема навантаження гвинта за осьового розтягу – стиску / Fig. 9. Screw loading scheme for axial tension-compression

Розв'язання таких задач складається з декількох етапів.

Аналіз. На цьому етапі визначається кількість невідомих зусиль у задачі. Стержень, що розглядається, звільняється від зв'язків і вводяться невідомі реакції опор: H_A , H_B , R_A , R_B (рис. 10 а). Застосовуючи метод перетинів, вводимо невідомі внутрішні зусилля: N_A , N_B (рис. 10 б). Відповідно, загальна кількість невідомих у стержні дорівнює 6. Очевидно, що за такої схеми навантаження: $R_A = 0$, $R_B = 0$.

З умови рівноваги елементів, показаних на рисунку 10 в, з, отримуємо $|H_A| = |N_A|$, $|H_B| = |N_B|$. Таким чином, число незалежних невідомих зусиль для розглянутого стержня $n = 2$.

Оскільки розглянута схема навантаження відповідає осьовому розтягу-стиску, в цьому випадку маємо одне рівняння статички ($y = 1$): $\sum X = 0$.

Беручи як невідомі внутрішні зусилля N_A , N_B , визначаємо ступінь статичної невизначеності (СШ) задачі:

$$СШ = n - y = 2 - 1 = 1$$

Задача є один раз статично невизначеною, тобто для її розв'язання, крім можливих рівнянь рівноваги, необхідно скласти одне додаткове рівняння.

Статична сторона задачі (складання рівнянь рівноваги). Як зазначалося вище, для зазначеної розрахункової схеми можна записати одне рівняння рівноваги, в даному випадку сума проєкцій всіх сил на вісь X (вісь балки):

$$\sum X = -N_A - F_x + N_B = 0$$

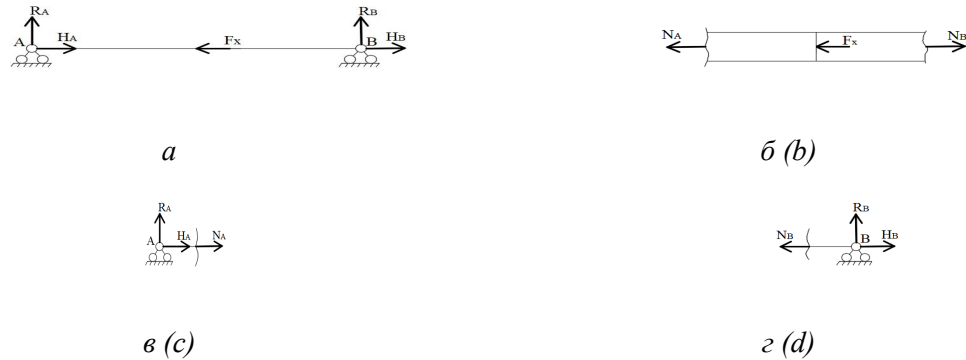


Рис. 10. Невідомі опорні реакції (а) та зусилля (б, в, г) в балці при осьовому розтяганні – стисканні / Fig. 10. Unknown support reactions (a) and forces (b, c, d) in the beam with axial tension – compression

Геометрична сторона задачі (план переміщень). Очевидно, що довжина стержня, який складається із двох ділянок, за деформації не змінилася: $\Delta l = 0$ $\Delta l = 0$.

З іншого боку, повне видовження стержня буде визначатися як сума видовжень його ділянок: $\Delta l = \Delta a + \Delta b$ $\Delta l = \Delta a + \Delta b$, де Δa і Δb – видовження лівої і правої ділянки стержня.

Із фізичних міркувань (рис. 11) очевидно, що ліва ділянка буде стискатися, а права розтягуватися, і при цьому деформації цих ділянок рівні за абсолютною величиною $|\Delta a| = |\Delta b|$ $|\Delta a| = |\Delta b|$. З урахуванням знака деформації: $-\Delta a = \Delta b$ $-\Delta a = \Delta b$.

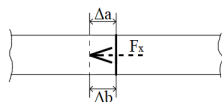


Рис. 11. Схема переміщень за деформації гвинта у випадку осьового розтягу – стиску / Fig. 11. Scheme of displacement during screw deformation, in case of axial tension – compression

Це співвідношення за своїм фізичним змістом є рівнянням сумісності деформацій, записане через переміщення.

Фізична сторона задачі (закон Гука). Відповідно до закону Гука, видовження ділянки Δl_i призматичного стержня за $N_i = \text{const}$ $N_i = \text{const}$ визначається за формулою:

$$\Delta l_i = \frac{N_i \cdot l_i}{E_i \cdot A_i} \Delta l_i = \frac{N_i \cdot l_i}{E_i \cdot A_i},$$

де N_i – внутрішнє зусилля на ділянці, l_i – довжина ділянки,

E_i – модуль Юнга матеріалу стержня, A_i – площа поперечного перетину стержня.

Відповідно до цієї формули, видовження лівої і правої ділянки дорівнюватимуть:

$$\Delta a = \frac{N_A \cdot a}{E \cdot A} \Delta a = \frac{N_A \cdot a}{E \cdot A}, \quad \Delta b = \frac{N_B \cdot b}{E \cdot A}$$

$$\Delta b = \frac{N_B \cdot b}{E \cdot A},$$

де a і b – довжини лівої і правої ділянки балки.

З огляду на ці вирази і співвідношення: $-\Delta a = \Delta b$ $-\Delta a = \Delta b$, отримаємо рівняння нерозривності деформацій, записане через зусилля:

$$\frac{N_A \cdot a}{E \cdot A} + \frac{N_B \cdot b}{E \cdot A} = 0 \quad \frac{N_A \cdot a}{E \cdot A} + \frac{N_B \cdot b}{E \cdot A} = 0,$$

яке після перетворення і з урахуванням

$$a = b = \frac{l}{2} \quad a = b = \frac{l}{2} \text{ набуває вигляду:}$$

$$N_A + N_B = 0 \quad N_A + N_B = 0.$$

Синтез. На даному етапі будується система рівнянь, що складається з рівняння рівноваги і рівняння нерозривності деформацій:

$$\begin{cases} -N_A - F_x + N_B = 0 \\ N_A + N_B = 0 \end{cases} \begin{cases} -N_A - F_x + N_B = 0 \\ N_A + N_B = 0 \end{cases}.$$

Розв'язуючи цю систему відносно невідомих внутрішніх зусиль, отримуємо:

$$N_A = -\frac{F_x}{2} \quad N_A = -\frac{F_x}{2}, \quad N_B = \frac{F_x}{2} \quad N_B = \frac{F_x}{2}.$$

За отриманими значеннями N_1 і N_2 будемо для стержня епюру поздовжніх сил (N) (рис. 12).

Як відомо, розрахунок на міцність виконується за найбільш напруженою точкою: небезпечною точкою в небезпечному перетині. Для визначення

положення небезпечного перетину необхідно проаналізувати епюри внутрішніх зусиль. При цьому зауважимо, що для даного типу деформації найбільш небезпечні нормальні напруження, тому розглядаються епюри поздовжньої сили N (рис. 12) і згинального моменту M (рис. 8).

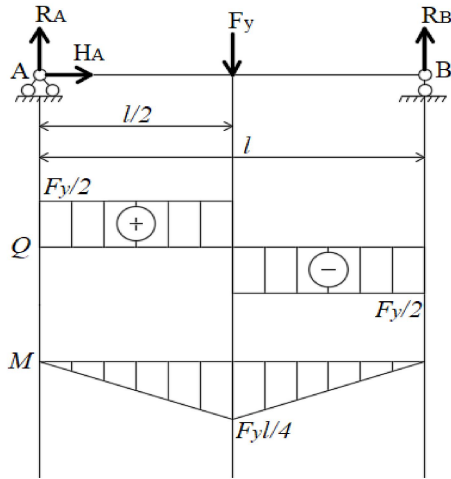


Рис. 12. Епюри внутрішніх зусиль у балці за осьового розтягу – стиску / Fig. 12. Diagrams of internal forces in a beam with axial tension – compression

Із рисунка 8 видно, що небезпечним перетином за ППЗ є перетин у точці прикладання вертикального навантаження, в якому $M = \max|M|$. З епюри нормальних зусиль (рис. 12) видно, що поздовжні сили розподілені рівномірно по довжині балки, проте зліва від точки прикладання поздовжнього навантаження вони працюють на стиск, а праворуч – на розтяг, тобто у випадку осьового розтягу – стиску всі перетини вважаються рівнебезпечними. Отже, небезпечним перетином у балці будемо вважати перетин, в якому величина згинального моменту максимальна.

Для визначення положення небезпечної точки необхідно побудувати епюри розподілу нормальних напружень по перетину балки. Як відомо, за ППЗ нормальні напруження розподіляються по висоті балки за лінійним законом, а за осьового розтягу – стиску є постійними по перетину (рис. 13).

Аналізуючи епюру згинальних моментів (рис. 8), можна помітити, що в небезпечному перетині напруження розтягу виникають у нижній частині балки, а ті, що стискають, – у верхній. При цьому з епюри поздовжніх сил (рис. 12) видно, що зліва від точки прикладання сили, яка збігається з небезпечним перетином за згину, балка стискається, а праворуч – розтягується.

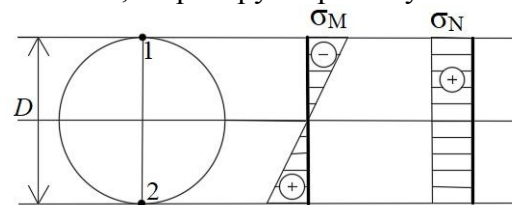


Рис. 13. Епюри нормальних напружень у перетині гвинта за ППЗ (σ_M) та осьового розтягу – стиску (σ_N) / Fig. 13. Diagrams of normal stresses in the section of the screw in flat transverse bend (σ_M) and axial tension – compression (σ_N)

Зауважимо, що величини напружень, спрямованих на стиск і розтяг, у розглянутих випадках деформації балки рівні за абсолютною величиною, але протилежні за напрямком. Тому підсумкові максимальні стискні і розтягуювальні напруження також будуть однаковими. Однак відповідно до епюр внутрішніх зусиль (рис. 8, 12) найбільші стискні напруження виникають на верхній межі перетину балки (точка 1, рис. 13), лівіше точки прикладання навантаження, а найбільші розтягуювальні – на нижній межі (точка 2, рис. 13), правіше цієї точки. З огляду на те, що більш небезпечними вважаються розтягуювальні напруження, розрахунок будемо виконувати в точці 2 (рис. 13).

Для визначення величин найбільших напружень необхідно скористатися принципом суперпозиції і скласти напруження з однаковим знаком, використовуючи формули для обчислення напружень за згину (задача 1) і осьового розтягу – стиску (задача 2):

$$\sigma_1 = \frac{\max|M|}{W_z} \sigma_1 = \frac{\max|M|}{W_z}, \quad \sigma_2 = \frac{|N|}{A} \sigma_2 = \frac{|N|}{A},$$

де M – осьовий момент опору поперечного перетину гвинта, A – площа поперечного перетину гвинта.

На основі принципу суперпозиції:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\max|M|}{W_z} + \frac{|N|}{A}$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\max|M|}{W_z} + \frac{|N|}{A}$$

Підставляючи в це співвідношення вирази для M , N , W_z , A , маємо:

$$\sigma = \frac{2F}{(\pi D^2) \left(\frac{4l}{D} \sin\alpha + \cos\alpha \right)}$$

$$\sigma = \frac{2F}{(\pi D^2) \left(\frac{4l}{D} \sin\alpha + \cos\alpha \right)}$$

Отримано вираз для визначення максимальних нормальних напружень за розглянутого виду складної деформації залежно від кута нахилу вектора навантаження.

На підставі отриманого співвідношення виконано оцінювання впливу величини кута нахилу вектора навантаження на НДС біодеградуючого гвинта. Для прикладу взято гвинт із розмірами: довжина 40 мм, діаметр 4,5 мм. Властивості гвинта – сплав МЛ-10, з модулем Юнга 43 ГПа і коефіцієнтом Пуассона 0,25. Межа короточасної міцності: $\sigma_b = 235$ МПа. Величина навантаження відповідала вазі дорослої людини, котра стояла на одній нозі, тобто 80 кг або 800 Н.

Для візуалізації результатів побудовано графік залежності максимальних нормальних напружень у небезпечному перетині гвинта від величини кута нахилу вектора навантаження (рис. 14) в діапазоні від 0° до 90° .

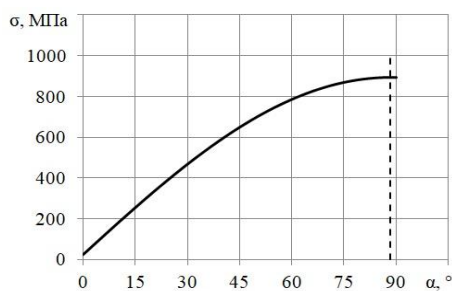


Рис. 14. Графік залежності максимальних напружень у небезпечному перетині гвинта від величини кута нахилу вектора навантаження /

Fig. 14. Graph of maximum stresses in the dangerous section of the screw versus the angle of inclination of the load vector

Із рисунка 14 видно, що у разі збільшення кута нахилу вектора навантаження відносно осі гвинта, напруження в небезпечному перетині також збільшуються. При цьому аналіз функції напружень показав, що максимум σ досягається за $\alpha = 88,4^\circ$, і за заданих параметрів гвинта і навантаження дорівнює 895,04 МПа. Однак за $\alpha = 90^\circ$ величина напружень склала 894,71 МПа, що нижче на 0,037 %. Цим пояснюється непомітна наявність точки екстремуму на графіку, тому його координата показана пунктирною лінією.

Як видно з результатів розрахунку, величини отриманих напружень істотно перевищують межу міцності матеріалу гвинта (235 МПа). Однак слід зауважити, що розрахункова модель передбачала спірання уламка кістки, в який закручено гвинт, тільки на штифт і не враховувалося спірання цього уламка на інші фрагменти кістки. Врахування цих параметрів сприяє зниженню величин напружень, але вимагає побудови інших розрахункових моделей.

При цьому отримані результати вказують на те, що при кутах нахилу вектора навантаження α , близьких до значення 90° , суттєвої відмінності у величинах максимальних напружень не виявлено, і як розрахункову модель можна використовувати схему, в якій навантаження перпендикулярні до осі гвинта.

Висновки. В результаті виконаного дослідження отримано функцію нормальних напружень (σ), що виникають у небезпечному перетині гвинта, залежно від величини кута нахилу вектора навантаження (α). Аналіз зазначеної функції показав, що нормальні напруження досягають екстремальних значень за величин α , близьких до 90° , проте $\alpha \neq 90^\circ$. За обраних для розрахунку параметрів гвинта і навантаження найбільші напруження отримано за $\alpha = 88,4^\circ$. При цьому різниця між максимальним значенням напружень і величиною σ за $\alpha = 90^\circ$ склала 0,037 %. Отримані результати вказують на те, що при кутах α , близьких до 90° , як розрахункову схему можна використовувати модель, в

якій навантаження перпендикулярне осі гвинта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Baumgaertel F. Technique of using the AO femoral distractor for femoral intramedullary nailing / F. Baumgaertel, C. Dahlen, R. Stiletto, L. Gotzen // *Journal of Orthopedic Trauma*. – 1994. – Vol. 8(4). – Pp. 315–321.
2. Behrens F. External fixation of the Tibia. Basic concept and prospective evaluation / F. Behrens, K. Searls // *Journal Bone Joint Surg*. – 1986. – Vol. 68, B (2). – Pp. 246–254.
3. Гайко Г. В. Анализ результатов лечения диафизарных переломов большеберцовой кости при использовании различных видов остеосинтеза / Г. В. Гайко, А. В. Калашников, К. В. Вдовиченко, Т. П. Чалайдюк // *Остеосинтез*. – 2012. – № 3 (20). – С. 16–20.
4. Климовицький В. Г. Переломи, що не зрослися, та псевдоартрози : симпозиум / В. Г. Климовицький, В. М. Оксимець // *Травма*. – 2012. – № 13 (4). – С. 166–174.
5. Zimmermann G. Trauma: Non-Union: New Trends. In: *European Instructional Lectures*. / G. Zimmermann, A. Moghaddam // 11th EFORT Congress. – Madrid, Spain. – 2010, March. – Vol. 10. – Pp. 15–19.
6. Панченко С. П. Оценка прочности винта, используемого для блокирующего интрамедуллярного остеосинтеза / С. П. Панченко, Д. А. Зинькевич, Е. В. Яцун, М. Л. Головаха // *Вісник ПДАБА*. – 2018. – № 2. – С. 54–61.
7. Определение референтных линий и углов длинных трубчатых костей : пособ. / [Л. Н. Соломин, Е. А. Щепкина, П. Н. Кулеш, В. А. Виленский, К. Л. Корчагин, П. В. Скоморошко]. – Санкт-Петербург : РНИИТО им. Р. Р. Вредена, 2012. – 48 с.

REFERENCES

1. Baumgaertel F., Dahlen C., Stiletto R. and Gotzen L. Technique of using the AO femoral distractor for femoral intramedullary nailing. *Journal of Orthopedic Trauma*. 1994, vol. 8(4), pp. 315–321.
2. Behrens F. and Searls K. External fixation of the Tibia. Basic concept and prospective evaluation. *Journal Bone Joint Surg*. 1986, vol. 68 B (2), pp. 246–254.
3. Gayko G.V., Kalashnikov A.V., Vdovichenko K.V. and Chaladyuk T.P. *Analiz rezul'tatov lecheniya diafizarnykh perelomov bol'shebertsovoy kosti pri ispol'zovanii razlichnykh vidov osteosinteza* [Analysis of the results of treatment of diaphyseal fractures of the tibia with different types of osteosynthesis]. *Osteosintez* [Osteosynthesis]. 2012, no. 3(20), pp. 16–20. (in Russian).
4. Klimovitsky V.G. and Oximets V.M. *Perelomy, shcho ne zroslysia, ta psevdoptrozy : simpozium* [Unbroken Fractures and Pseudoarthrosis: symposium]. *Travma* [Trauma]. 2012, no. 13(4), pp. 166–174. (in Russian).
5. Zimmermann G. and Moghaddam A. Trauma: Non-Union: New Trends. In: *European Instructional Lectures*. 11th EFORT Congress, 2010, 24 March, Madrid, Spain, vol. 10, pp. 15–19.
6. Panchenko S.P., Zinkevych D.A., Yatsun E.V. and Golovakha M.L. *Otsenka prochnosti vinta ispol'zuyemogo dlya blokiryushchego intramedulyarnogo osteosinteza* [Assessment of screw durability used for blocking intramedullary osteosynthesis]. *Visnik PDABA* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, no. 2, pp. 54–61. (in Russian).
7. Solomin L.N., Shchepkina Ye.A., Kulesh P.N., Vilenskiy V.A., Korchagin K.L. and Skomoroshko P.V. *Opredeleniye referentnykh liniy i uglov dlinnykh trubchatykh kostey : posobiye* [Identification of reference lines and corners of long tubular bones: manual]. Saint-Petersburg: RNIITO named by R.R. Vreden, 2012, 48 p. (in Russian).

Надійшла до редакції : 20.06.2019 р.

УДК: 669.1.017:621.771.25:621.785:669.14
DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.88.468

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПІСЛЯДЕФОРМАЦІЙНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ НА ФОРМУВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ДІЙСНОГО ЗЕРНА

ПАРУСОВ Е. В.^{1*}, к. т. н., с. н. с.,
ЛУЦЕНКО В. А.², д. т. н., с. н. с.,
ПАРУСОВ О. В.³, к. т. н., с. н. с.,
ЧУЙКО І. М.⁴, к. т. н.,
ГОЛУБЕНКО Т. М.⁵, к. т. н.,
СІВАК Г. І.⁶

^{1*} Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

² Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: lutsenko-va@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

³ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: termet@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9879-6179

⁴ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ferrosplav@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

⁵ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: sumer@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-3583-211X

⁶ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: allasivak@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6948-7732

Анотація. Постановка проблеми. Злитки та безперервноліті заготовки піддають гарячій деформації, коли сталь перебуває в аустенітному стані. Інтервал температур деформації сталей у промислових умовах достатньо різноманітний (1 080...1 200 °С). Для кожної сталі температура нагріву визначається з урахуванням її хімічного складу і схильності до росту аустенітних зерен. Пластичне деформування металів і сплавів в аустенітному стані супроводжується двома конкуруючими процесами: збільшенням щільності дислокацій, що викликає зміцнення, та перебудовою мікроструктури і субструктури (динамічне знеміцнення). У проміжках між обтисненнями сталь частково відновлює свою структуру, тому формування остаточної мікроструктури постає результатом загальної кількості обтиснень за різних температур і пауз між ними, тобто залежить від статичних і динамічних процесів. **Мета дослідження** – встановити особливості впливу параметрів післядеформаційної термічної обробки та хімічного складу вуглецевої сталі на формування розміру перлітних зерен у структурі бунтового прокату. **Результати.** Встановлені особливості впливу параметрів післядеформаційної термічної обробки та хімічного складу свідчать про те, що у разі зниження температури початку повітряного охолодження у високовуглецевій сталі С82D^V поряд із дисперсійним зміцненням можливий розвиток зернограничного зміцнення, що зумовлено не тільки виділенням карбідів або нітридів, а й уповільненням процесів рекристалізації. В той же час у разі легування сталі С82D^{Cr} хромом у кількості до 0,27 % зміцнення відбувається за рахунок твердорозчинного механізму (карбіди і нітриди хрому не виявлені). Показано, що дослідження особливостей формування структури й механічних властивостей високовуглецевих сталей, в тому числі легованих карбідотвірними елементами (ванадій і/або хром), слід проводити від температур не менше 1 040 °С, за яких бар'єрний механізм не чинить істотного впливу на міграцію границь аустенітних зерен і формування структури аустеніту перед початком безперервного повітряного охолодження бунтового прокату.

Ключові слова: бунтовий прокат; аустеніт; дійсне зерно; високовуглецева сталь

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСЛЕДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗЕРНА

ПАРУСОВ Э. В.^{1*}, к. т. н., с. н. с.,
ЛУЦЕНКО В. А.², д. т. н., с. н. с.,
ПАРУСОВ О. В.³, к. т. н., с. н. с.,
ЧУЙКО И. Н.⁴, к. т. н.,

ГОЛУБЕНКО Т. Н.⁵, к. т. н.,
СИВАК А. И.⁶

^{1*} Інститут чорної металургії ім. З. И. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

² Інститут чорної металургії ім. З. И. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: lutsenko-va@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

³ Інститут чорної металургії ім. З. И. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: termet@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9879-6179

⁴ Інститут чорної металургії ім. З. И. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ferrosplav@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

⁵ Інститут чорної металургії ім. З. И. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: sumer@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-3583-211X

⁶ Інститут чорної металургії ім. З. И. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, 49107, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: allasivak@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6948-7732

Аннотация. Постановка проблемы. Слитки и непрерывнолитые заготовки подвергают горячей деформации, когда сталь находится в аустенитном состоянии. Интервал температур деформации сталей в промышленных условиях достаточно разнообразный (1 080...1 200 °С). Для каждой стали температура нагрева определяется с учетом её химического состава и склонности к росту аустенитных зерен. Пластическое деформирование металлов и сплавов в аустенитном состоянии сопровождается двумя конкурирующими процессами: увеличением плотности дислокаций, что вызывает упрочнение, и перестраиванием микроструктуры и субструктуры (динамическое разупрочнение). В промежутках между обжатиями сталь частично восстанавливает свою структуру, поэтому формирование окончательной микроструктуры является результатом общего количества обжатий при различных температурах и пауз между ними, то есть зависит от статических и динамических процессов. **Цель исследования.** Установить особенности влияния параметров последеформационной термической обработки и химического состава углеродистой стали на формирование размера перлитных зерен в структуре бунтового проката. **Результаты.** Установленные особенности влияния параметров последеформационной термической обработки и химического состава свидетельствуют о том, что при снижении температуры начала воздушного охлаждения в высокоуглеродистой стали С82D^V наряду с дисперсионным упрочнением может развиваться зернограничное упрочнение, что обусловлено не только выделением карбидов или нитридов, но и замедлением процессов рекристаллизации. В то же время при легировании стали С82D^{Cr} хромом в количестве до 0,27% упрочнение происходит за счет твёрдорастворного механизма (карбиды и нитриды хрома не обнаружены). Показано, что исследование особенностей формирования зеренной структуры и механических свойств высокоуглеродистых сталей, в том числе легированных карбидообразующими элементами (ванадий и/или хром), следует проводить от температур не ниже 1 040 °С, при которых барьерный механизм не оказывает существенного влияния на миграцию границ аустенитных зерен и формирование структуры аустенита перед началом непрерывного воздушного охлаждения бунтового проката.

Ключевые слова: бунтовой прокат; аустенит; действительное зерно; высокоуглеродистая сталь

PECULIARITIES OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE POST-DEFORMATION HEAT TREATMENT AND CHEMICAL COMPOSITION OF STEEL ON THE FORMATION OF ACTUAL SIZE OF GRAIN

PARUSOV E.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Res. Ass.,*

LUTSENKO V.A.², *Dr. Sc. (Tech.), Sen. Res. Ass.,*

PARUSOV O.V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Res. Ass.,*

CHUIKO I.M.⁴, *Cand. Sc. (Tech.),*

HOLUBENKO T.M.⁵, *Cand. Sc. (Tech.),*

SIVAK H.I.⁶

^{1*} Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., 49107, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

² Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., 49107, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: lutsenko-va@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

³ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., 49107, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: termet@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9879-6179

⁴ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., 49107, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ferrosplav@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

⁵ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., 49107, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: sumer@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-3583-211X

⁶ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., 49107, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: allasivak@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6948-7732

Abstract. Problem statement. Ingots and continuous cast billets are hot deformed when the steel is in the austenitic state. The temperature range of steel deformation in industrial conditions is quite diverse (1 080...1 200 °C). For each steel the heating temperature is determined taking into account its chemical composition and propensity to grow austenitic grains. Plastic deformation of metals and alloys in the austenitic state is accompanied by two competing processes: an increase of the density of dislocations, which causes the hardening, and rebuilding of the microstructure and substructure (dynamic softening). In the intervals between reductions the steel partially restores its structure, therefore the formation of the final microstructure is the result of the total number of reductions at different temperatures and pauses between them, that is, it depends on static and dynamic processes. **Purpose.** To establish the peculiarities of the influence of the parameters of post-deformation heat treatment and the chemical composition of carbon steel on the formation of the size of pearlite grains in the structure of rolled products. **Results.** The established specific features of the influence of post-deformation heat treatment parameters and chemical composition indicate that when the air cooling temperature is decreased for high carbon steel C82D^V, along with dispersion hardening, grain-boundary hardening can develop, which is caused not only by the release of carbides or nitrides, but also by slowing down the recrystallization processes. At the same time, when steel C82D^{Cr} is doping with chromium in an amount up to 0.27 %, hardening occurs due to the solid-solution mechanism (carbides and chromium nitrides are not detected). It is shown that the study of the features of the formation of the grain structure and mechanical properties of high carbon steels, including those doped with carbide-forming elements (vanadium and / or chromium), should be carried out from temperatures of at least 1 040 °C, at which the barrier mechanism does not significantly affect the migration of austenite grain boundaries and the formation of austenite structure before the start of continuous air cooling of wire rod.

Keywords: wire rod; austenite; actual grain; high carbon steel

Вступ та постановка проблеми. Злитки та безперервнолиті заготовки піддають гарячій деформації коли сталь перебуває в аустенітному стані. Інтервал температур деформації сталей у промислових умовах достатньо різноманітний (1 080...1 200 °C). Під час післядеформаційної витримки після завершення гарячої обробки металу тиском у результаті перебігу статичної рекристалізації можуть утворюватися більші зерна аустеніту, які знеміцнюють сталь [1–3]. Для кожної сталі температура нагріву визначається з урахуванням її хімічного складу і схильності до росту аустенітних зерен. Гаряча обробка тиском сталі здійснюється через певні проміжки часу, а температура наступних обтиснень нижча за попередні.

Така особливість властива для чорнових, проміжних та передчистових груп прокатних клітей, де характерні низькі швидкості деформації. Зі збільшенням швидкості прокатки температура одиничних обтиснень сталі підвищується (передчистові та чистові прокатні кліті).

Пластичне деформування металів і сплавів в аустенітному стані

супроводжується двома конкуруючими процесами: збільшенням щільності дислокацій, що викликає зміцнення, та перебудовою мікроструктури і субструктури (динамічне знеміцнення) [3]. У проміжках між обтисненнями сталь частково відновлює свою структуру, тому формування остаточної мікроструктури – це результат загальної кількості обтиснень за різних температур і пауз між ними, тобто залежить від статичних і динамічних процесів.

З метою отримання дрібнозернистої структури в першу чергу прагнуть подрібнювати аустенітне зерно завдяки зниженню температури нагріву заготовки під гарячу прокатку. Наприклад, зниження температури нагріву заготовок із низьковуглецевих сталей перед початком гарячої деформації з 1 200 °C до 1 050 °C зумовлює подрібнення зерен фериту у структурі сталі приблизно на 1 номер [4; 5]. Зниження температури завершення гарячої деформації викликає або подрібнення зерен аустеніту, або підвищення його дефектності, що зумовлює під час $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення подрібнення феритних зерен.

Відомо, що легування сталі впливає на енергію дефектів упаковки аустеніту ($\gamma_{д.у}$), яка, у свою чергу, визначає процеси рекристалізації в сталях [4; 6]. Наявність кореляції між $\gamma_{д.у}$ та розміром аустенітного зерна економнолегованих бористих сталей, які були піддані деформації в різних температурних інтервалах, підтверджується результатами експериментальних досліджень у праці [7].

Враховуючи викладене, становило інтерес дослідити особливості впливу хімічного складу вуглецевих сталей, у тому числі легованих карбідотвірними елементами (хромом і/або ванадієм), та параметрів післядеформаційної термічної обробки на формування величини дійсного зерна.

Мета дослідження – встановити особливості впливу параметрів післядеформаційної термічної обробки та хімічного складу вуглецевої сталі на формування розміру перлітних зерен у структурі бунтового прокату.

Матеріал і методика досліджень. Вивчення впливу параметрів

післядеформаційної термічної обробки та хімічного складу сталей (таблиця, EN ISO 16120-2:2011) проводили на зразках, відібраних від промислових партій бунтового прокату діаметром 5,5...11,0 мм. Середній умовний діаметр зерна (d_L , мкм) визначали згідно з вимогами ГОСТ 5639-82 на протравлених мікрошліфах у розчині кислот із додаванням поверхнево-активних речовин [8].

Металографічний аналіз сталей проводили на світловому оптичному мікроскопі «Axiovert 200M MAT», растровому електронному мікроскопі «VEGA TS5130MM» з енергодисперсійним спектрометром «INCA ENERGY-300» та хвильовим рентгенівським спектрометром «Wave 500» фірми «Oxford Instruments».

Контроль швидкості (V_{no}) та температури початку повітряного охолодження (T_{nn}) здійснювали за допомогою стаціонарного та переносного лазерних пірометрів.

Таблиця

Хімічний склад сталей, використаних для досліджень / The chemical composition of steels used for research

Марка сталі	Хімічний склад, вагова частка, %										
	C	Mn	Si	P	S	V	Cr	Ni	Cu	N	B
C66D	0,64	0,59	0,19	0,009	0,005	–	0,03	0,05	0,12	0,006	0,0015
C82D	0,84	0,64	0,17	0,008	0,003	–	0,06	0,04	0,11	0,007	0,0017
C82D ^V	0,83	0,69	0,19	0,010	0,003	0,07	0,04	0,07	0,11	0,006	0,0014
C82D ^{Cr}	0,83	0,75	0,19	0,011	0,003	–	0,27	0,04	0,10	0,006	0,0013
C82D ^{CrV}	0,83	0,70	0,18	0,012	0,003	0,05	0,15	0,05	0,09	0,006	0,0014

Результати досліджень та їх обговорення. Перша серія експериментів, проведена під час виробництва бунтового прокату діаметром 7,0 мм із вуглецевої нелегованої сталі C66D, дозволила дослідити вплив температури післядеформаційної паузи в інтервалі 900...1 050 °C за умови незмінності її тривалості ($\tau_{nn} = 7,0$ с) та швидкості повітряного охолодження ($V_{no} \sim 15$ °C/с) на формування величини дійсного зерна.

Розмір перлітних зерен збільшується з підвищенням T_{nn} (рис. 1), а найбільш інтенсивне їх зростання спостерігається за температур вище 950 °C (рис. 2). Така особливість пов'язана з інтенсифікацією

процесів збиральної рекристалізації аустеніту упродовж післядеформаційної витримки бунтового прокату перед початком безперервного охолодження, що зумовлює зростання як аустенітних, так і перлітних зерен.

Відомо, що розмір перлітних зерен залежить від розміру зерен аустеніту, з яких вони утворюються, і чим крупніші зерна аустеніту, тим більшого розміру утворюються перлітні зерна [2]. Для сталі C66D розбіг розмірів перлітних зерен не перевищував 2...3 номерів згідно з еталонними шкалами ГОСТ 5639-82.

Результати досліджень свідчать про суттєвий вплив T_{nn} на формування

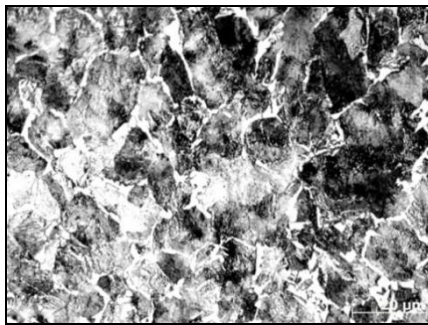
остаточної структури і механічних властивостей бунтового прокату з нелегованої вуглецевої сталі С66D. Разом зі зростанням тимчасового опору руйнуванню спостерігається одночасне збільшення ступеня дисперсності перліту, зумовлене підвищенням стійкості аустеніту, але така особливість характерна лише в тому випадку, коли швидкість повітряного охолодження не менша 10 °С/с [9; 10].

Підвищення лише температури післядеформаційної паузи без застосування інтенсивного повітряного охолодження спричинює розпад аустеніту за дифузійним механізмом за більш високих температур та утворень ділянок перліту 5...6-го бала (ГОСТ 8233-56), який має достатньо малий

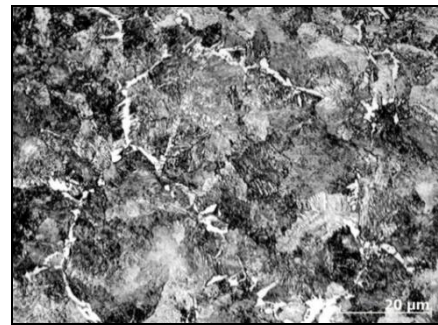
запас пластичності, що негативно впливає на подальшу холодну пластичну деформацію бунтового прокату.

Як було встановлено, підвищення температури післядеформаційної паузи викликає збільшення розміру зерен аустеніту та, відповідно, його стійкості.

Отже, під час подальшого інтенсивного повітряного охолодження зростає ступінь переохолодження аустеніту, а температура початку перлітного перетворення (критична точка A_{r1}) зміщується в область більш низьких температур, що зумовлює утворення сорбітоподібного перліту з мінімальною міжпластинковою відстанню ($S_0 \leq 0,20$ мкм).



а



б (b)

Рис. 1. Розмір перлітних зерен у структурі бунтового прокату діаметром 7,0 мм зі сталі С66D: а – $T_{mn} = 890$ °С; б – $T_{mn} = 1050$ °С / Fig. 1. The size of perlite grains in the structure of rifle rolling in diameter 7,0 mm in steel C66D: а – $T_{mn} = 890$ °С; б – $T_{mn} = 1050$ °С

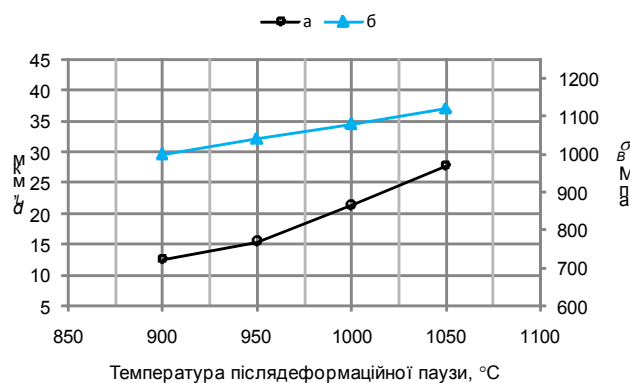


Рис. 2. Залежність середнього умовного діаметра зерна та тимчасового опору руйнуванню сталі С66D від температури післядеформаційної паузи (за її тривалості $\tau_{mn} = 7,0$ с): а – середній умовний діаметр зерна аустеніту; б – тимчасовий опір руйнуванню / Fig. 2. The dependence of the mean conditioned grain diameter and the time resistance to the collapse of the C66D steel from the temperature of the post-deformation pause (with its duration $\tau_{mn} = 7,0$ sec): а – average conditional diameter of grain of austenite; б – temporary resistance to destruction

Аналогічного зменшення міжпластинової відстані у перліті сталі можна досягти застосуванням більш інтенсивних швидкостей повітряного охолодження, але слід пам'ятати, що зі збільшенням діаметра бунтового прокату зменшується фактична охолоджувальна здатність дугтьових вентиляторних систем, які розташовані на рольгангу, тому для більшості металургійних підприємств виникає реальна проблема, пов'язана з нездатністю існуючого технологічного обладнання забезпечити необхідний ступінь переохолодження аустеніту сталі перед початком перлітного перетворення.

На рисунку 3 показано залежність розподілу величини дійсних зерен у сталі С82D залежно від діаметра бунтового прокату за умови незмінності інших параметрів післядеформаційної термічної обробки сталі ($T_{nn} = 1040 \pm 15$ °С, $\tau_{nn} = 7,0$ с, $V_{no} = 15$ °С/с).

Результати металографічних досліджень свідчать про те, що зі збільшенням профілерозміру прокату починаючи з діаметра 8,0 мм спостерігається збільшення

розміру дійсних зерен. Така особливість формування структури сталі С82D зі збільшенням діаметра прокату пояснюється зменшенням сумарного ступеня обтиснення і, відповідно, уповільненням процесів рекристалізації.

Експериментальні дослідження, проведені для бунтового прокату з вуглецевої нелегованої сталі С66D і С82D, дозволили встановити ефективні технологічні заходи, які зумовлюють зростання величини аустенітного зерна і, відповідно, підвищення його стійкості перед початком безперервного повітряного охолодження. Отримані дані дозволяють цілеспрямовано впливати на формування структури аустеніту перед початком перлітного перетворення та адаптувати швидкості повітряного охолодження дугтьових вентиляторних систем із метою отримання найбільш раціонального поєднання структури та механічних властивостей для виробництва бунтового прокату з вуглецевих сталей.

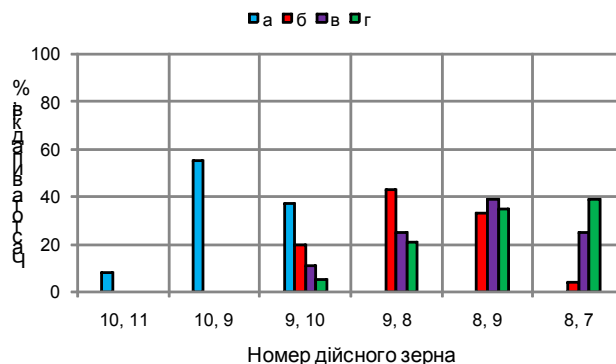


Рис. 3. Розподіл номерів дійсних зерен залежно від діаметра бунтового прокату зі сталі С82D: а – діаметр 5,5 мм; б – діаметр 8,0 мм; в – діаметр 10,0 мм; г – діаметр 11,0 мм / Fig. 3. Distribution of numbers of actual grains depending on the diameter of rival rolled steel from S82D: а – diameter 5,5 mm; б – diameter 8,0 mm; в – the diameter of 10,0 mm; г – diameter 11,0 mm

з метою встановлення впливу карбідотвірних хімічних елементів на формування величини перлітних зерен вуглецевих сталей наступну серію експериментів проведено для бунтового прокату зі сталей С82D^V, С82D^{Cr}, С82D^{VCr} (див. табл.). Параметри режиму післядеформаційної термічної обробки були обрані за аналогією з нелегованою

вуглецевою сталлю С82D: $T_{nn} = 1040 \pm 15$ °С, $\tau_{nn} = 7,0$ с, $V_{no} \sim 15$ °С/с.

Результати металографічного аналізу розподілу номерів дійсних зерен у структурі сталей залежно від діаметра прокату наведені на рисунках 4–6. Отримані дані свідчать про те, що ступінь сумарного обтиснення під час виробництва бунтового прокату суттєво впливає на формування

структури аустеніту і, відповідно, розподіл номерів дійсних зерен у високовуглецевих сталях. Відсутньої різниці у номерах дійсних зерен по групах профілерозмірів бунтового прокату не встановлено, на відміну від результатів досліджень праці [11], де спостерігалось подрібнення дійсних зерен ванадійвмісної сталі C82D від 0,5...1,0 номера за температур $T_{mn} = 940...960$ °С.

Установлені особливості дають підстави вважати, що за підвищення температури початку повітряного охолодження сталей, легованих карбідотвірними елементами, до $1\ 040 \pm 15$ °С, вплив бар'єрного механізму (карбідів, нітридів) виявляється незначним, що не впливає на міграцію границь аустенітних зерен і, відповідно, перебіг процесів рекристалізації, у тому числі статичної рекристалізації упродовж післядеформаційної витримки прокату.

Отже, підвищення температури початку безперервного охолодження на 90...100 °С порівняно з традиційно прийнятими в металургійній практиці дозволяє додатково впливати на структуру аустеніту і його стійкість як звичайних вуглецевих сталей, так і легованих карбідотвірними елементами (ванадій, хром). За допомогою оптичної світлової мікроскопії та мікрорентгено-спектрального аналізу в структурі сталей C82D^V і C82D^{VCr} виявлено комплексні сполуки карбонітридів ванадію, розмір яких становив 1...7 мкм (рис. 7, 8). Нітриди й карбіди хрому в сталях C82D^{Cr} і C82D^{VCr} мікрорентгеноспектральним аналізом не виявлені. Це дає підстави вважати, що під час додавання до складу сталі хрому в кількості до 0,30 % він імовірно повністю переходить до твердого розчину.

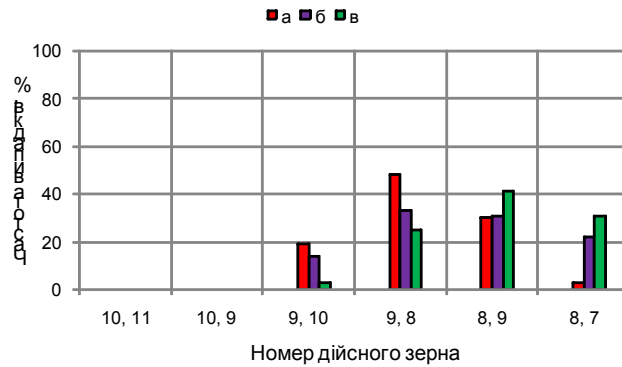


Рис. 4. Розподіл дійсного зерна за номерами залежно від діаметра бунтового прокату зі сталі C82D^V: а – діаметр 8,0 мм; б – діаметр 10,0 мм; в – діаметр 11,0 мм / Fig. 4. Distribution of real grain by numbers depending on the diameter of rifle rolling from steel C82D^V:

а – diameter 8,0 mm; б – diameter of 10,0 mm; в – the diameter of 11,0 mm

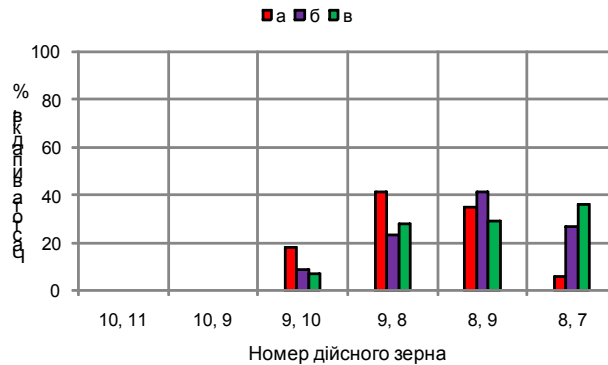


Рис. 5. Розподіл дійсного зерна за номерами залежно від діаметра бунтового прокату зі сталі C82D^{Cr}: а – діаметр 8,0 мм; б – діаметр 10,0 мм; в – діаметр 11,0 мм / Fig. 5. Distribution of real grain by numbers depending on the diameter of rifle rolling from steel C82D^{Cr}: а – diameter of 8,0 mm; б – diameter of 10,0 mm;

в – the diameter of 11,0 mm

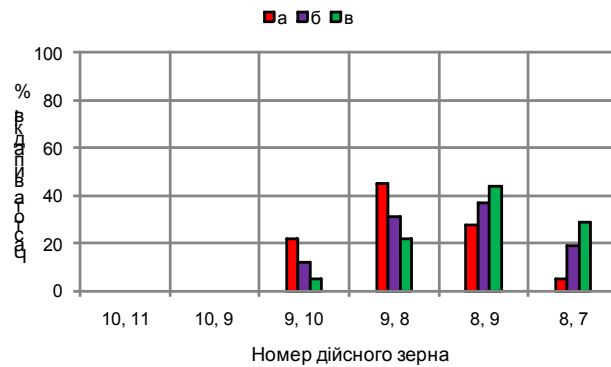


Рис. 6. Розподіл дійсного зерна за номерами залежно від діаметра бунтового прокату зі сталі C82D^{CrV}: а – діаметр 8,0 мм; б – діаметр 10,0 мм; в – діаметр 11,0 мм / Fig. 6. Distribution of real grain by numbers, depending on the diameter of rifle rolling from steel C82DCrV: a – diameter of 8,0 mm; б – diameter of 10,0 mm; в – the diameter of 11,0 mm

Вільна енергія є термодинамічною функцією і дозволяє оцінити можливість перебігу хімічної реакції за конкретних умов [12], яка характеризується зменшенням вільної енергії, а пріоритетність перебігу визначається більш негативною величиною зміни вільної енергії.

Зміна стандартної вільної гіббсової енергії (ΔG) від температури утворення карбідів та нітридів, за даними праці [12], показана на рисунку 9. З аналізу наведеної залежності випливає, що: $\Delta G_{BN}^0 < \Delta G_{VC}^0 < \Delta G_{Cr_2C_3}^0 < \Delta G_{CrN}^0 < \Delta G_{VN}^0 < \Delta G_{B_4C}^0$.

У першу чергу відбувається часткове зв'язування азоту в нітрид бору, потім утворюються карбіди ванадію, карбід хрому, далі нітрид хрому і ванадію, а в останню чергу – карбід бору. Ванадій, внаслідок його впливу на процес карбідоутворення, сприяє тонкому розподілу карбідів у перліті, що спостерігається навіть за невеликих швидкостей повітряного охолодження або порівняно високої температури ізотермічного перетворення. Розчинність карбідів (карбонітридів) в аустеніті вища, ніж нітридів.

Наприклад, нітриди титану практично не розчиняються в аустеніті, а нітриди ніобію та алюмінію досить важко розчиняються в аустеніті. Відомо, що за температур нагріву під загартування більшість карбонітридів ванадію розчиняється в аустеніті, а карбіди і нітриди хрому легше переходять до складу аустеніту

за більш низьких температур, ніж карбіди і нітриди ванадію. При цьому значний вплив на розчинність карбідів в аустеніті чинить вуглець [13; 14].

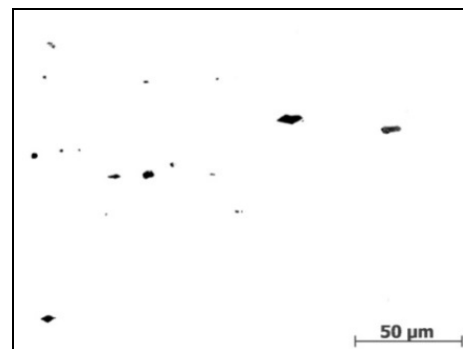


Рис. 7. Карбонітриди ванадію у структурі сталі C82D^V і C82DCr^{CrV} (світлова оптична мікроскопія) / Fig. 7. Vanadium carbonitrides in the steel structure C82D^V and C82DCr^{CrV} (light optical microscopy)

Підвищення температури розчинення карбідів в аустеніті зі збільшенням вмісту вуглецю зумовлене збільшенням активності вуглецю в аустеніті та коефіцієнта термодинамічної активності [15]. Температура розчинення карбідів, нітридів та карбонітридів залежить не тільки від їх фазового складу, а й від хімічного складу сталі. Знаходячись в аустеніті, карбідо- та нітридотвірні елементи (ванадій, хром, марганець) зменшують коефіцієнт термодинамічної активності вуглецю й азоту, що збільшує добуток розчинності карбідів і нітридів, тобто сприяє їх переходу в аустеніт.

Легування сталі елементами, які не є карбідотвірними, наприклад, кремнієм, навпаки, буде збільшувати коефіцієнт

термодинамічної активності вуглецю й азоту та ускладнювати розчинення карбідів і нітридів в аустеніті.

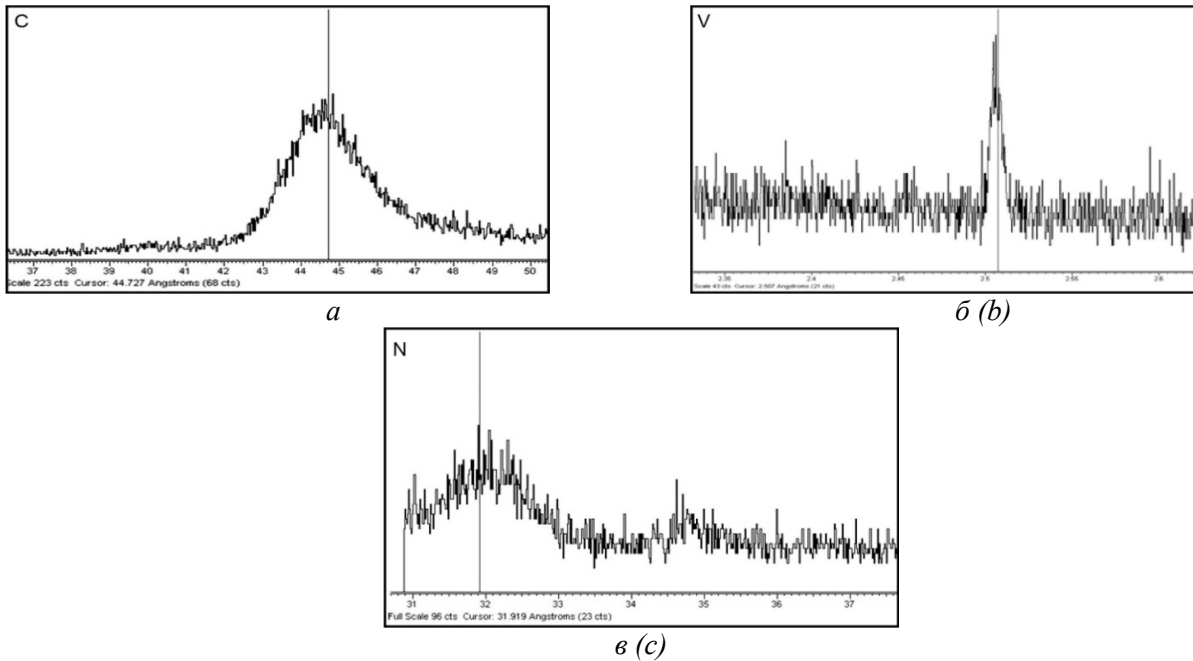


Рис. 8. Сканування на хвильовому спектрометрі в області довгохвильового випромінювання [11]: а – $CK\alpha$ (44,727 Å); б – $VK\alpha$ (2,507 Å); в – $NK\alpha$ (31,919 Å) / Fig. 8. Scanning on a wave spectrometer in the region of long-wave radiation [11]: a – $CK\alpha$ (44,727 Å); b – $VK\alpha$ (2,507 Å); c – $NK\alpha$ (31,919 Å)

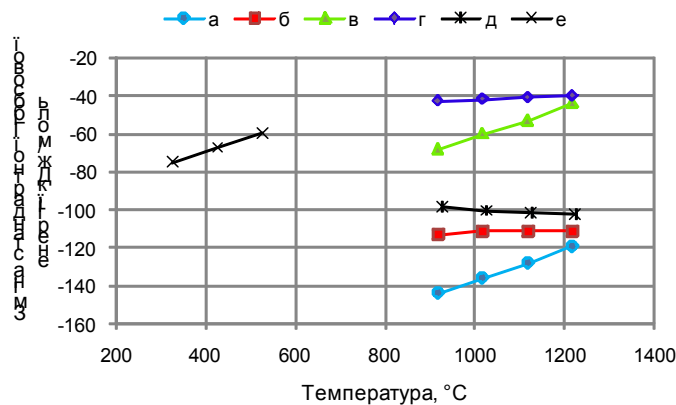


Рис. 9. Зміна стандартної гіббсової енергії залежно від температури для різних сполук: а – BN; б – VC; в – VN; г – B_4C ; д – Cr_3C_2 ; е – CrN / Fig. 9. Changing the standard Gibbs energy depending on temperature for different compounds: a – BN; б – VC; в – VN; г – B_4C ; д – Cr_3C_2 ; е – CrN

Зазначений вплив хімічних елементів проявляється в тому випадку, якщо вони перебувають у твердому розчині (аустеніті), а не в карбідній фазі, тому, досліджуючи розчинення того чи іншого карбиду і нітриду, необхідно враховувати, що раніше перейти до складу аустеніту можуть лише менш сильні карбіди або нітриди. Так, підвищувати розчинність карбиду ванадію в

аустеніті можуть хром і марганець, карбіди яких розчиняються в аустеніті за менш високих температур, а, наприклад, титан такого впливу на розчинення карбиду ванадію чинити не буде тому, що він перебуває в періодичній системі хімічних елементів лівіше ванадію і, отже, перейде у твердий розчин за більш високих температур, ніж карбід ванадію.

Згідно з дослідженнями, проведеними у праці [16], з підвищенням температури завершення гарячої обробки тиском високовуглецевої сталі 80 до 950 °С та подальшою витримкою в ізотермічних умовах від 1 до 10 с включно спостерігається збільшення показника d_L приблизно на 18 %, що дозволяє додатково впливати на процеси структуроутворення у високовуглецевих сталях за рахунок підвищення стійкості аустеніту перед початком безперервного повітряного охолодження бунтового прокату.

Отже, тривалість післядеформаційної паузи в певному часовому інтервалі за температур не нижче 950 °С виступає додатковим фактором, який забезпечує підвищення стійкості аустеніту високовуглецевих сталей перед початком безперервного охолодження.

Висновки. Установлені особливості впливу параметрів післядеформаційної термічної обробки та хімічного складу свідчать про те, що у разі зниження температури початку повітряного охолодження у високовуглецевій сталі C82D^V поряд із дисперсійним зміцненням можливий розвиток зернограничного зміцнення, що зумовлено не тільки виділенням карбідів або нітридів, а й уповільненням процесів рекристалізації. В той же час, у разі легування сталі C82D^{Cr}

хромом у кількості до 0,27 % зміцнення відбувається за рахунок твердорозчинного механізму (карбіди і нітриди хрому не виявлені).

Враховуючи викладене, найбільш раціональним способом підвищення класу міцності гарячекатаного бунтового прокату вважаємо одночасне введення до складу сталі ванадію і хрому, що повинно забезпечити реалізацію дисперсійного та твердорозчинного механізмів зміцнення.

Проведені дослідження дозволили встановити особливості впливу параметрів післядеформаційної термічної обробки, які сприяють підвищенню стійкості аустеніту високовуглецевої сталі залежно від її хімічного складу.

Показано, що дослідження особливостей формування зеренної структури й механічних властивостей високовуглецевих сталей, в тому числі легованих карбідотвірними елементами (ванадій і/або хром), слід проводити від температур не менше за 1 040 °С, за яких бар'єрний механізм не чинить істотного впливу на міграцію границь аустенітних зерен і формування структури аустеніту перед початком безперервного повітряного охолодження бунтового прокату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов : монография / И. И. Новиков. – Москва : Металлургия, 1986. – 480 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение : монография / А. П. Гуляев. – Москва : Металлургия, 1978. – 646 с.
3. Пластичность сплавов с различной структурой: монография / [С. И. Губенко, Э. В. Парусов]. – Germany-Mauritius : Palamarium Academic Publishing, 2017. – 183 с.
4. Термомеханическая обработка стали: монография / [М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина]. – Москва : Металлургия, 1983. – 480 с.
5. Термическое упрочнение проката: монография / [К. Ф. Стародубов, И. Г. Узлов, В. Я. Савенков и др.]. – Москва : Металлургия, 1970. – 368 с.
6. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов : монография / М. Л. Бернштейн. – Москва : Металлургия, 1968. – 1171 с.
7. Прокат из борсодержащих сталей для высокопрочных крепежных изделий : монография / [В. В. Парусов, О. В. Парусов, А. Б. Сычков]. – Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2010. – 160 с.
8. А. с. 597966 СССР, МКИ³ G01 N 31/32; C09 K 13/00. Реактив для выявления зерен низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей / Ж. А. Дементьева, Е. С. Романенко, Ю. И. Пилипченко (СССР). – № 2302230/23-26; заявл. 22.12.75; опубл. 15.03.76, бюл. № 10. – 3 с.
9. Парусов Э. В. Влияние параметров структуры высокоуглеродистой стали на вязкость разрушения / Э. В. Парусов, С. И. Губенко, А. Б. Сычков и др. // Сталь. – 2018. – № 12. – С. 46–51.

10. Development of thermomechanical treatment of coil rolled products made of steel C86D micro-alloyed with boron / E.V. Parusov, V.V. Parusov, A.B. Sychkov [et al.] // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 6. – Pp. 70–74.
11. Высокоуглеродистая катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов : монография / [А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. М. Нестеренко и др.]. – Бендеры : Полиграфист, 2010. – 280 с.
12. Уикс К. Е. Термодинамические свойства 65 элементов, их окислов, галогенидов, карбидов и нитридов: монография / К. Е. Уикс, Ф. Е. Блок. – Москва : Metallurgiya, 1965. – 240 с.
13. Меськин В. С. Основы легирования стали: монография / В. С. Меськин. – М. : Metallurgiya, 1964. – 684 с.
14. Гудремон Э. Специальные стали : монография / [Э. Гудремон пер. с немецкого. – в 2-х т.]. – Москва : Metallurgiya, 1996. – 1274 с.
15. Материаловедение : учебн. пособие / [И. М. Жарский, Н. П. Иванова, Д. В. Куис, Н. А. Свидуневич]. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 557 с.
16. Луценко В. А. Рекристаллизация аустенита в стали 80 при температурно-деформационной обработке / В. А. Луценко, В. В. Парусов // Metallurgiya. – Минск : Вышэйшая школа, – 2003. – № 27. – С. 94–96.

REFERENCES

1. Novikov I.I. *Teoriya termicheskoy obrabotki metallov* [Theory of heat treatment of metals]. Moscow : Metallurgiya, 1986, 480 p. (in Russian).
2. Gulyaev A.P. *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow : Metallurgiya, 1978, 646 p. (in Russian).
3. Gubenko S.I. and Parusov E.V. *Plastichnost splavov s razlichnoy strukturoy* [Plasticity of alloys with different structure]. Germany-Mauritius, Palamarium Academic Publishing, 2017, 183 p. (in Russian).
4. Bernshteyn M.L., Zaymovskiy V.A. and Kaputkina L.M. *Termomehanicheskaya obrabotka stali* [Thermomechanical treatment of steel]. Moscow : Metallurgiya, 1983, 480 p. (in Russian).
5. Starodubov K.F., Uzlov I.G., Savenkov V.Ya. et al. *Termicheskoe uprochnenie prokata* [Thermal hardening of rolled products]. Moscow : Metallurgiya, 1970, 368 p. (in Russian).
6. Bernshteyn M.L. *Termomehanicheskaya obrabotka metallov i splavov* [Thermomechanical treatment of metals and alloys]. (V. I-II). Moscow : Metallurgiya, 1968, 1171 p. (in Russian).
7. Parusov V.V., Parusov O.V. and Syichkov A.B. *Prokat iz borsoderzhaschih staley dlya vyisokoprochnykh krepzhnykh izdeliy* [Boron steel for high strength fasteners]. Dnepropetrovsk 6 ART-PRESS, 2010, 160 p. (in Russian).
8. A. s. 597966 USSR, MKI3 G01 N 31/32; S09 K 13/00. *Reaktiv dlya vviyavleniya zeren nizkouglerodistykh, sredneuglerodistykh i nizkolegirovannykh staley* / Zh. A. Dementeva, E. S. Romanenko, Yu. I. Pilipchenko (USSR). – Appl. No 2302230/23-26; Filed: 22.12.75; Date of Patent: 15.03.76, bul. № 10. – 3 p. (in Russian).
9. Parusov E.V., Gubenko S.I., Syichkov A.B. et al. *Vliyanie parametrov strukturyi vyisokouglerodistoy stali na vyzkost razrusheniya* [Influence of the Structural Parameters of High-Carbon Steel on the Impact Strength]. *Stal*, 2018, no. 12, pp. 46–51. (in Russian).
10. Parusov E.V., Parusov V.V., Sychkov A.B. et al. Development of thermomechanical treatment of coil rolled products made of steel C86D micro-alloyed with boron. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016, no. 6, pp. 70–74.
11. Syichkov A.B., Zhigarev M.A., Nesterenko A.M. et al. *Vyisokouglerodistaya katanka dlya izgotovleniya vyisokoprochnykh armaturnykh kanatov* [High carbon wire rod for the manufacture of high-strength reinforcing ropes] Bendery : Poligrafist Publ., 2010, 280 p. (in Russian).
12. Uiks K.E., Blok F.E. *Termodinamicheskie svoystva 65 elementov, ih okislov, galogenidov, karbidov i nitridov* [Thermodynamic properties of 65 elements: their oxides, halides, carbides, and nitrides]. Moscow : Metallurgiya, 1965, 240 p. (in Russian).
13. Meskin V.S. *Osnovyi legirovaniya stali* [Basics of steel alloying]. Moscow : Metallurgiya, 1964, 684 p. (in Russian).
14. Gudremon E. *Spetsialnyie stali* [Special Steels.]. Moscow : Metallurgiya, 1996, 1274 p. (in Russian).
15. Zharskiy I.M., Ivanova N.P., Kuis D.V. and Svidunovich N.A. *Materialovedenie* : uchebn. posobie [Materials science : tutorial]. Minsk : Vyisheyshaya shkola, 2015, 557 p. (in Russian).
16. Lutsenko V.A. and Parusov V.V. *Rekristallizatsiya austenita v stali 80 pri temperaturno-deformatsionnoy obrabotke* [Recrystallization of austenite in steel 80 at temperature and deformation processing]. *Metallurgiya* [Metallurgy]. Minsk : Vyisheyshaya Shkola, 2003, no. 27, pp. 94–96. (in Russian).

Надійшла до редакції : 11.05.2019 р.

УДК 621.314+692:64

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.99.469

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗШИРЕННЯ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНИХ ТЕПЛОАГРІВАЧІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ І ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

ЧУПРИНА В. Л.¹, *інж.*,

КОТОВ Н. А.^{2*}, *к. т. н., доц.*,

ЗЕЗЮКОВ Д. М.³, *к. т. н., доц.*,

МАХІНЬКО М. М.⁴, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра автоматики і електротехніки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна

^{2*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

³ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: denis.zezjukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

⁴ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia2785@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

Анотація. Постановка проблеми. Головний недолік використання газу в нашій країні – постійне зростання цін на нього, і будь-яких змін у бік зменшення вартості в ситуації, що склалася, не передбачається. Також до об'єктивних недоліків можна віднести високу вартість підключення до газової мережі, зменшення тиску газу за температур через його стиснення, низьку його якість і, як наслідок, низьку теплотвірну здатність. Альтернативою газу може виступати електричне опалення. Це один з найбільш екологічних і безпечних, а також зручних способів опалення приміщення. Наразі існує значна різноманітність пристроїв і устаткування: електричні котли різних типів; електроконвектори; електричні тепловентилятори; масляні радіатори. Всі вони поєднані загальним принципом нагрівання. На тепловидільний елемент, найчастіше це ТЕН, безпосередньо подається електричний струм, в результаті чого відбувається його розігрів. ТЕН (трубчастий електронагрівач) являє собою нагрівальний елемент у вигляді спіралі, яка поміщається в закриту трубку з жаростійкого матеріалу. Робоча температура оболонки ТЕН у середньому може досягати 450...500 °С. Істотний недолік такого способу отримання тепла – значні витрати електроенергії на нагрів ТЕНа. Інший, набагато ефективніший спосіб – це індукційне нагрівання – полягає в нагріванні струмопровідних тіл (тонкостінних труб) за рахунок збудження в них електричних струмів змінним електромагнітним полем. **Мета статті** – обґрунтування доцільності розширення сфери застосування індукційних нагрівачів для опалення житлових та громадських будівель.

Ключові слова: індукційне нагрівання; первинна обмотка; короткозамкнений виток; закон трансформації; тепло, що виділяється

ОБОСНОВАНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ ТЕПЛОАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

ЧУПРИНА В. Л.¹, *инж.*,

КОТОВ Н. А.^{2*}, *к. т. н., доц.*,

ЗЕЗЮКОВ Д. М.³, *к. т. н., доц.*,

МАХИНЬКО М. М.⁴, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра автоматики и электротехники, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина

^{2*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: denis.zezjukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

⁴ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia2785@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

Аннотация. Постановка проблемы. Главным недостатком использования газа в нашей стране является постоянный рост цен на него, и какого-либо изменения в сторону уменьшения стоимости в сложившейся ситуации не предвидится. Также к уже объективным недостаткам можно отнести высокую стоимость подключения к газовой сети, уменьшение давления газа при отрицательных температурах в силу его сжатия, низкое его качество и, как следствие, низкую теплопроводную способность. Альтернативой газу может выступать электрическое отопление. Оно является одним из самых экологичных и безопасных, а также удобных способов обогрева помещения. В настоящее время имеется значительное разнообразие устройств и оборудования: электрические котлы разных типов; электроконвекторы; электрические тепловентиляторы; масляные радиаторы. Все имеют общий принцип нагрева. На тепловыделяющий элемент, чаще всего это ТЭН, непосредственно подается электрический ток, в результате чего происходит его разогрев. ТЭН (трубчатый электронагреватель) представляет собой нагревательный элемент в виде спирали, которая помещается в закрытую трубку из жаростойкого материала. Рабочая температура оболочки в среднем может достигать 450...500 °С. Существенным недостатком такого способа получения тепла является значительные затраты электроэнергии на нагрев ТЭНа, но при этом контакт с теплоносителем имеет только малая площадь его поверхности. Другим намного более эффективным способом является индукционный нагрев. Он заключается в нагреве токопроводящих тел (тонкостенных труб) за счёт возбуждения в них электрических токов переменным электромагнитным полем. **Цель статьи** – обоснование целесообразности расширения области применения индукционных нагревателей для отопления жилых и общественных зданий.

Ключевые слова: индукционный нагрев; первичная обмотка; короткозамкнутый виток; закон трансформации; выделяемое тепло

SUBSTANTIATION OF REASONABILITY OF THE EXTENSION OF THE SCOPE OF APPLICATION OF THE INDUCTIVE HEATERS FOR HEATING THE RESIDENTIAL AND CIVIL BUILDINGS

CHUPRYNA V.L.¹, *Eng.*,

KOTOV M.A.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

ZEZIUKOV D.M.³, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

MAKHINKO M.M.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

¹ Department of Automation and Electrical Engineering, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine

^{2*} Department of Reinforced Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

³ Department of Reinforced Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, +38 (0562) 47-03-19, e-mail: denis.zeziukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

⁴ Department of Reinforced Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine+38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia2785@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

Abstract. Problem statement. When referencing heating, most people immediately imagine bulky boilers, a significant amount of complex bound pipes, massive radiators and so on, which is typical for a heating system that runs directly on fossil fuels. The main disadvantage of using gas in our country is the constant price increase for it, and in the current situation, any changes towards the reduction of cost are not expected. It is also possible to include the high cost of gas network connection to the objective disadvantages, reducing the gas pressure at negative temperatures due to its compression, its low quality and, as a consequence, low heating value. Electric heating can be used as an alternative to gas. It is one of the most environmentally friendly as well as convenient ways to heat the space. Currently, there is a significant variety of devices and equipment such as electric boilers of various types; electric convector heaters; electric fan heaters; oil coolers. All of them are combined by the common principle of heating. An electric current is directly sent to a fuel element, most often it is a tubular electric heater, as a result of which it is heated. ТЕН (tubular electric heater) is a heating element in the form of a heating coil, which is placed in a closed tube of a heat-resistant material. The operating temperature of a tubular electric heater cover on average can reach 450...500 °С. An essential disadvantage of such a method of obtaining heat is the considerable expenses of the electric power spent for heating the tubular electric heater, but at the same time only the small surface area of tubular electric heater has contact with the heat carrier. Another much more effective way of electric heating is induction heating. It consists in heating conductive

bodies (fine pipes) due to the excitation of electric currents in them by an alternating electromagnetic field. *The purpose* of the article is to substantiate the extension of the scope of the application of the inductive heaters for heating residential and civil buildings.

Keywords: induction heating; primary winding; short-circuited coil; transformation law; released heat

Індукційне нагрівання – це безконтактне нагрівання електропровідних матеріалів енергією змінного магнітного поля, індукує електричні струми. Принципи роботи індукційного нагрівання були сформульовані в 1831 році з відкриттям електромагнітної індукції.

Теплова дія індукційного струму була успішно впроваджена в 1900 році на підприємстві «Benedicks Bulttabrik» (Швеція) в індукційній печі для виплавки сталі. Піч живилась від однофазного трансформатора, вторинною обмоткою якого є тигель, який являє собою короткозамкнене кільце.

Такий спосіб виплавки сталі застосовується донині в деяких виробництвах для печей великої ємкості [1–3].

В основу індукційного нагрівання покладено принцип взаємної індукції, який ефективно використовується в роботі трансформатора.

Розглянемо конструкцію для нагрівання теплоносія, яка являє собою класичний трансформатор (рис. 1). Первинна обмотка має N_1 витків та тепловий реактор (вторинна обмотка, яка має N_2 короткозамкнених витків), розташований на замкненому осерді [5; 6].

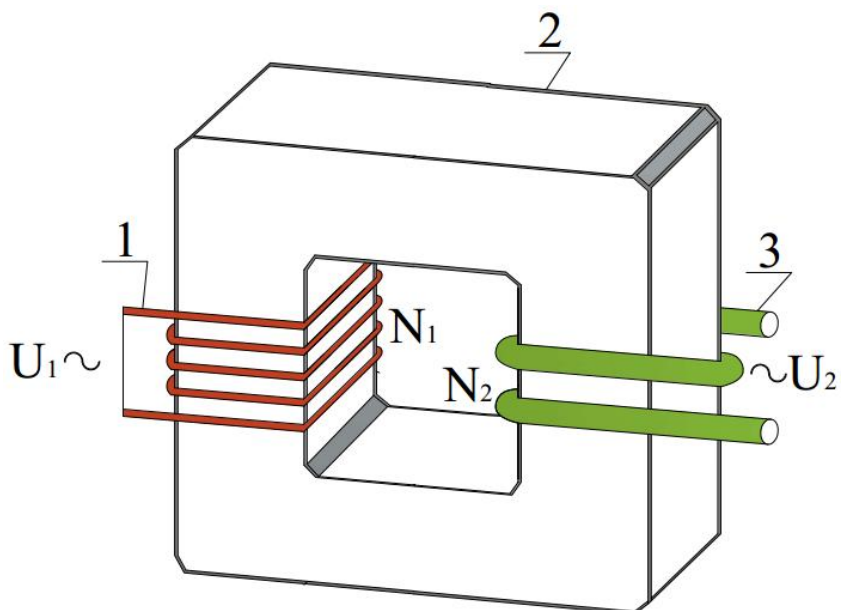


Рис. 2. Загальний принцип пристрою реактора, де: 1 – первинна обмотка; 2 – магнітопровід; 3 – вторинна обмотка (тонкостінний металевий елемент) / Fig. 2. General principle of reactor device, where: 1 – primary winding; 2 – magnetron; 3 – secondary winding (thin-walled metallic element)

Оскільки кінці первинної обмотки підключені до джерела змінної напруги з ЕДС E_1 , в ній виникає змінний струм I_1 , який створює в осерді трансформатора змінний магнітний потік Φ_1 , котрий повністю пронизує короткозамкнений виток реактора. Зміна цього потоку у короткозамкненому витку викликає ЕДС взаємної

індукції, а в первинній обмотці – ЕДС самоіндукції.

Для первинної обмотки згідно з другим правилом Кірхгофа та законом Ома випливає:

$$E_1 - \frac{d}{dt}(N_1 \Phi) = I_1 R_1,$$

де R_1 – опір первинної обмотки.

Зниження напруги $I_1 \cdot R_1$ на опорі R_1 незначне, тому:

$$E_1 \approx N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

Із цього випливає, що витрати енергії для створення магнітного поля досить незначні. ЕДС взаємної індукції, де виникає в короткозамкненому витку реактора, описується залежністю:

$$E_2 = - \frac{d(N_2\Phi)}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Знак мінус показує, що ЕДС у первинній обмотці та короткозамкненому витку протилежні за фазою. При цьому в короткозамкненому витку індукується ЕДС $E_{кз}$ і виникає струм $I_{кз}$, зсунутий відносно $E_{кз}$ на кут $\varphi = 0$, що визначається досить незначною індуктивністю витка. Струм $I_{кз}$ збуджує магнітний потік Φ_2 , який охоплює короткозамкнений виток і зсуває в часі відносно до основного магнітного потоку, при цьому дещо зменшується вплив взаємоіндукції в часі (рис. 2).

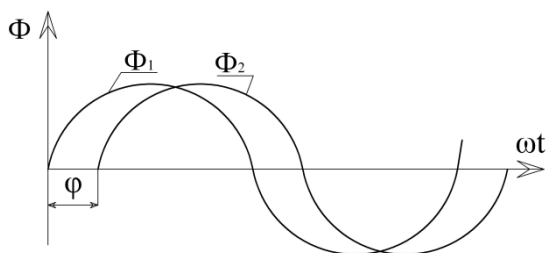


Рис. 2. Принцип дії короткозамкненого витка в електромагнітних системах змінного струму / Fig. 2. The principle of work of short-circuited circle in electromagnetic systems of an alternating current

За законом трансформатора, відношення числа витків N_2/N_1 має назву «коефіцієнт трансформації», потужність струму в обох обмотках практично однакова:

$$E_2 I_2 \approx E_1 I_1$$

Звідкі випливає:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1};$$

$$I_2^{кз} = \frac{I_1 \cdot N_1}{1} = I_1 \cdot N_1$$

Тоді із закону Джоуля–Ленца теплотворність струму можна розглядати як:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t,$$

де I – струм короткозамкненого витка; R – опір коротко замкненого витка.

Короткозамкнений виток реактора виконаний з електропровідного матеріалу і має спеціальну геометричну форму, що забезпечує оптимальну величину опору.

Розглядаючи окремий випадок на прикладі трансформатора потужністю 1 кВАр (кіловар – одиниця вимірювання реактивної потужності), можна виконати розрахунок отриманого тепла Q , виділеного за допомогою феромагнітного перетворювача струму. Повна потужність перетворювача – 1 кВАр. Активна потужність визначається за формулою:

$$P = S \cdot \cos\varphi = 1 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ кВт},$$

де P – активна потужність, кВт; S – повна потужність, кВАр; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності.

Із закону трансформації на теплообміннику реактора можливо отримати струм до 800 А, виходячи з того, що режим роботи первинної обмотки буде певним, потрібно виконати розрахунок геометричної форми короткозамкненого витка на 25 % менше, тобто струм дорівнює 600 А. За законом Джоуля–Ленца виконуємо розрахунок тепла, що виділяє короткозамкнений виток:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = 600^2 \cdot 0,02 \cdot 3600 = 26 \text{ МДж}$$

За незначних затрат, у первинній мережі 0,8 кВт з'являється можливість отримати більш значну кількість тепла, особливо порівняно із класичними активними нагрівальними елементами (ТЕН):

$$Q = U \cdot I \cdot t = 800 \cdot 3600 = 2,88 \text{ МДж}$$

Висновки. Застосування методу індукційного нагрівання в установках для опалення приміщень набагато більш економічне порівняно з іншими методами електричного опалення, а саме:

- 1) значно менші затрати електроенергії на нагрівання теплоносія;
- 2) значна швидкість нагрівання теплоносія, залежно від конфігурації реактора, час, витрачений на нагрівання складає від 4 до 8 секунд;
- 3) значно більший вихід тепла, різниця з традиційними методами складає 88,92 %;

4) компактність, екологічність та безпечність використання реактора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Растворова И. И. Оптимальное проектирование индукционных нагревателей с использованием численных моделей / И. И. Растворова, В. Б. Демидович, Ф. В. Чмиленко, Е. Г. Григорьев // Индукционный нагрев. – 2011. – № 15. – С. 4–7.
2. Растворова И. И. Энергоэффективный индукционный нагрев алюминиевых заготовок перед прессованием / И. И. Растворова, В. С. Немков, В. Б. Демидович, Ф. В. Чмиленко, П. А. Ситько // Индукционный нагрев. – 2012. – № 21. – С. 4–10.
3. Batygin Yu. V. Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals / Yu.V. Batygin, S. F. Golovashchenko, A. V. Gnatov // Journal of Materials Processing Technology / Elsevier. – 2014. – Vol. 214. – № 2. – Pp. 390–401.
4. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України : монографія / [М. П. Ковалько, М. П. Денисюк]. – Київ : УЕЗ, 1998. – 506 с.
5. Білий Л. А. Нові напрямки конструювання трансформаторів / Л. А. Білий, Я. В. Ковівчак // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2014. – № 785. – С. 106–113. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPEEC_2014_785_20
6. Пуйло Г. В. Энергоэффективные силовые трансформаторы / Г. В. Пуйло, Е. П. Насыпаная // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2016. – № 22. – С. 144–149. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2016_22_27

REFERENCES

1. Rastvorova I.I., Demidovich V.B., Chmilenko F.V. and Grigorev E.G. *Optimalnoe proektirovanie indukcionnyh nagrevatelej s ispolzovaniem chislennyh modelej* [Optimal design of induction heaters using numerical models]. *Indukcionnyj nagrev* [Induction heating], 2011, no. 15, pp. 4–7. (in Russian).
2. Rastvorova I.I., Nemkov B.C., Demidovich V.B., Chmilenko F.V. and Sitko P.A. *Energoeffektivnyj indukcionnyj nagrev alyuminiemyh zagotovok pered pressovaniem* [Energy-efficient induction heating of aluminum blanks before compression]. *Indukcionnyj nagrev* [Induction heating]. 2012, no. 21, pp. 4–10. (in Russian).
3. Batygin Yu.V., Golovashchenko S.F. and Gnatov A.V. Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals // *Journal of Materials Processing Technology*. Elsevier. 2014, vol. 214, no. 2, pp. 390–401.
4. Kovalko M.P. and Denisyuk M.P. *Energozberezhennya – prioritetnij napryamok derzhavnoi politiki Ukraini* [Energy saving is a priority direction of the state policy of Ukraine]. Kyiv : UEZ, 1998, 506 p. (in Ukrainian).
5. Bilij L.A. and Kovivchak Ya. V. *Novi napryamki konstruyuvannya transformatoriv* [New directions for constructing transformers]. *Visnik Nacional'nogo universitetu "Lvivska politehnika". Elektroenergetichni ta elektromehanichni sistemi* [Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Electric power and electromechanical systems.]. 2014, no. 785, pp. 106–113. (in Ukrainian).
6. Pujlo G.V. and Nasypanaya E.P. *Energo effektivnye silovye transformatory* [Energy efficient power transformers]. *Elektrotehnichni ta kompyuterni sistemi* [Electrotechnical and computer systems]. 2016, no. 22, pp. 144–149. (in Russian).

Надійшла до редакції: 13.05.2019 р.

УДК 624.012

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.104.470

РЕАБІЛІТАЦІЯ ТА КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ПАЛАЦОВО-ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСУ «САДИБА» В СМТ ШАРІВКА ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

ЯРОВИЙ С. М.¹, *д. т. н., проф.*,

СЛОБОДЯНЮК С. О.^{2*}, *д. т. н., проф.*

¹ Кафедра металевих та дерев'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61102, Харків, Україна, тел. +38 (057) 706-17-63, e-mail: psp-nauka@vandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456,

^{2*} Кафедра теоретичної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: slobodianiuk.sergey@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4874-7296

Анотація. Останнім часом ситуація в пам'яткоохоронній сфері значно погіршилася, що пов'язано з фізичним зносом пам'яток, втратою автентичності, неврегульованим розміщенням реклами, відсутністю державного фінансування, неможливістю власників утримувати в належному стані об'єкти, численні порушення чинного пам'яткоохоронного законодавства. З метою створення ефективних і сприятливих умов для розвитку сфери охорони культурної спадщини, збереження і використання пам'яток архітектури, залучення активної громадськості до пам'яткоохоронної справи в Україні на рівні регіонів створено програми збереження архітектурної спадщини. Заходами цієї програми запланована оцінка перспективи подальшого використання архітектурної спадщини та залучення інвестицій, розроблення попередніх концепцій архітектурних пропозицій щодо їх збереження і розвитку. У заходах програми пріоритетними постають видатні архітектурні ансамблі – пам'яті архітектури національного значення, серед яких архітектурно-художніми якостями виділяється палацово-парковий ансамбль «Садиба» в смт Шарівка. Палац і парк у Шарівці унікальні, перш за все, тим, що, незважаючи на незадовільний, а часто аварійний стан окремих об'єктів, збереглися практично в первозданному вигляді як містобудівний ансамбль, де ще можливо відчуті автентичні параметри і масштаб палацово-паркового мистецтва. На базі Шарівського ансамблю пропонується створити сучасний етнопарк і туристичний екокомплекс, які будуть розташовуватися поблизу значимого об'єкта історико-культурної спадщини та сприяти створенню різних умов для відпочинку: за тривалістю перебування (короткочасний і сезонний відпочинок), за соціальним вибором (для різних вікових груп населення), за різноманітністю туристичної діяльності (оздоровчий туризм, науково-пізнавальний туризм, еко- і етнотуризм).

Ключові слова: *палацово-парковий ансамбль; реабілітація; культурна спадщина; реставрація; концепція розвитку; екокомплекс; етнопарк; туризм*

РЕАБИЛИТАЦИЯ И КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ДВОРЦОВО-ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСА «УСАДЬБА» В ПГТ ШАРОВКА ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ЯРОВОЙ С. Н.², *д. т. н., проф.*,

СЛОБОДЯНЮК С. А.^{2*}, *д. т. н., проф.*

¹ Кафедра металлических и деревянных конструкций, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская, 40, 61102, Харьков, Украина, тел. +38 (057) 706-17-63, e-mail: psp-nauka@vandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456

^{2*} Кафедра теоретической механики, Государственное высшее учебное заведение «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: slobodianiuk.sergey@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4874-7296

Аннотация. В последнее время ситуация в памятникоохранной сфере значительно ухудшилась, что связано с физическим износом памятников, потерей аутентичности, неупорядоченным размещением рекламы, отсутствием государственного финансирования, невозможностью собственников содержать в надлежащем состоянии объекты, многочисленные нарушения действующего памятникоохранного законодательства. С целью создания эффективных и благоприятных условий для развития сферы охраны культурного наследия, сохранения и использования памятников архитектуры, привлечения активной общественности к памятникоохранному делу в Украине на уровне регионов созданы программы сохранения архитектурного наследия. Этой программой запланирована оценка перспективы дальнейшего использования архитектурного наследия и привлечения инвестиций, разработка предварительных концепций архитектурных предложений по

их сохранению и развитию. В мероприятиях программы приоритетными являются выдающиеся архитектурные ансамбли – памятники архитектуры национального значения, среди которых по архитектурно-художественным качествам выделяется дворцово-парковый ансамбль «Усадьба» в пгт Шаровка. Дворец и парк в Шаровке уникальны, прежде всего тем, что, несмотря на неудовлетворительное, а часто аварийное состояние отдельных объектов, сохранились практически в первозданном виде как градостроительный ансамбль, где еще возможно ощутить аутентичные параметры и масштаб дворцово-паркового комплекса. На базе Шаровского ансамбля предлагается создать современный этнопарк и туристический экомплекс, которые будут располагаться вблизи значимого объекта историко-культурного наследия и способствовать созданию различных условий для отдыха: по длительности пребывания (кратковременный и сезонный отдых), по социальному выбору (для разных возрастных групп населения), по разнообразию туристической деятельности (оздоровительный туризм, научно-познавательный туризм, эко- и этнотуризм).

Ключевые слова: дворцово-парковый ансамбль; реабилитация; культурное наследие; реставрация; концепция развития; экомплекс; этнопарк; туризм

REHABILITATION AND CONCEPT OF THE DEVELOPMENT OF PALACE AND GARDEN COMPLEX "SADYBA" IN SETTLEMENT SHARIVKA, KHARKIV REGION

YAROVYI S.M.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SLOBODIANIUK S.O.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹ Department of Metal and Wooden Structures, Kharkiv National University of Construction and Architecture, 40, Sumska St., 61102, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (057) 706-17-63, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456,

^{2*} Department of Theoretical Mechanics, State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: slobodianiuk.sergey@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4874-7296

Abstract. Recently, the situation in the monument protective field has deteriorated significantly, which is associated with the physical deterioration of monuments, loss of authenticity, disordered advertising, lack of state funding, the inability of owners to maintain objects in good condition, and numerous violations of the current protection legislation. In order to create effective and favorable conditions for the development of the cultural heritage protection, preservation and use of architectural monuments, involving the active public in the protection and protection work in Ukraine, programs for the preservation of architectural heritage have been created at the regional level. The activities of this program planned to assess the prospects for the further use of the architectural heritage and attract investment, the development of preliminary concepts for architectural proposals for their preservation and development. In the program's events, priority is given to outstanding architectural ensembles – architectural monuments of national importance, among which the palace and garden complex "Sadyba" stands out in architectural and artistic qualities in the town settlement of Sharivka. The palace and park in Sharivka is unique, primarily due to the fact that despite the unsatisfactory and often emergency condition of individual objects, it has been preserved practically in its original form, as a town-planning ensemble, where it is still possible to feel the authentic parameters and scale of the palace and garden complex. On the basis of the Sharivskiy ensemble, it is proposed to create a modern ethno park and a tourist eco-complex, which will be located near a significant object of historical and cultural heritage and help create different conditions for recreation: for the duration of staying (short and seasonal rest), by social choice (various age population), on a variety of tourism activities (health tourism, educational tourism, eco- and ethno tourism).

Keywords: palace and garden complex; rehabilitation; cultural heritage; restoration; concept of development; eco-complex; ethno park; tourism

Вступ. Останнім часом ситуація в пам'яткоохоронній сфері значно погіршилась, що пов'язано з фізичним зносом пам'яток, втратою автентичності, неупорядкованим розташуванням реклами, відсутністю державного фінансування, неспроможністю власників утримувати в належному стані об'єкти, численними порушеннями діючого пам'яткоохоронного законодавства.

З метою створення ефективних умов для розвитку сфери культурного надбання, охорони і використання культурної спадщини пам'яток архітектури, залучення активної громадськості до пам'яткоохоронної справи Харківська обласна рада затвердила «Програму збереження архітектурного надбання в Харківській області на 2018 – 2022 роки».

Заходами цієї програми заплановане оцінювання перспективи розвитку

подальшого використання архітектурного надбання та залучення інвестицій, розроблення попередніх концепцій архітектурних пропозицій щодо їх збереження та розвитку.

У заходах програми пріоритетними постали видатні архітектурні ансамблі – пам'ятники архітектури національного значення, серед яких за архітектурно-художніми якостями виділяється палацово-парковий ансамбль «Садиба».

1. Палацово-парковий ансамбль «Садиба»

Ансамбль «Садиба» розташований в смт Шарівка Богодухівського району Харківської області (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд палацово-паркового ансамблю «Садиба» в смт Шарівка / Fig 1. A general view of the palace and park ensemble "Sadyba" in the settlement Sharivka

Цей комплекс формувався протягом тривалого історичного періоду за впливу господарської та культурної діяльності всіх його власників.

Засновником садиби вважається Павло Ольховський, якому належали навколишні землі, ліси і винокурний завод. Садибний будинок, побудований Ольховським у середині XIX ст., став тим ядром, навколо якого із часом було закладено сад, парк, зведено службові приміщення [3; 4].

Насаджений у другій половині XIX ст. парк розташований на схилах і в долині природної балки. Навколишній ландшафт сприяв створенню пейзажного парку, адже вікова діброва і невеликий ставок у низині дозволили створити його.

Ансамбль садиби, яким він постає нині, набув своїх закінчених форм із 1894 по 1917 рік, коли садиба перейшла у володіння барона Леопольда Кеніга. У створенні архітектурного ансамблю брали участь інженер К. С. Шольц і німецький архітектор Якобі. У той час були перебудовані палац, тераси, манеж, стайні, гараж, електростанція, приміщення для робітників, каретні сараї, будинок управляючого замком. Над подальшим удосконаленням парку працював ландшафтний дизайнер Георг Куфальдт (рис. 2).



Рис 2. Загальний вигляд палацу і терас на початку XX століття / Fig. 2. General view of the Palace and terraces in the early XX century



Рис 3. Сходи терас і палац / Fig. 3. Stairs of the Terraces and the Palace

У своєму проєкті Куфальдт розмістив ландшафтні групи та масиви зелених насаджень таким чином, що вони організовували три головні краєвиди – «променади» (круглий у плані бельведер на дні балки). З неї розкривається панорама

північного схилу балки: в центрі палац із каскадом терас, що спускається до ставу, на сході – оранжереї та будинок садівника (рис. 3).

Із західної частини променаду розкривався панорамний краєвид, який складається з двох основних сюжетів: великий став у тальвезі балки та велика галявина, що підіймалася з дна балки по північному схилу та завершувалася павільйоном фазанника (рис. 4).



Рис 4. Став і галявина на дні балки садиби / Fig. 4. Became a lawn on the bottom of the gates of the estate

У 20-х роках ХХ століття в Палаці був організований протитуберкульозний санаторій і до східного фасаду будівлі був прибудований двоповерховий об'єм (веранди) з переважною площею скління, з дерев'яними фігурними палітурками, які використовувалися для прийняття сонячних ванн.

До складу палацово-паркового ансамблю «Садиба» в смт Шарівка входять п'ять пам'яток архітектури національного значення (парк, палац, будинок варті, будинок господарського двору, будинок лісника) та сім пам'яток архітектури місцевого значення (будинок управляючого замком, два каретні сараї, два фазанники, казарма для робітників, альтанка, колодязь).

2. Технічне обстеження ансамблю «Садиба».

На першому етапі роботи було виконано візуальне та інструментальне технічне обстеження всіх будівель та споруд і розроблені першочергові протиаварійні заходи. Обстеженням виявлено численні значні пошкодження будівель та споруд.

Парк і тераси Шарівської садиби являють собою об'єкт садово-паркового мистецтва. Це масив насаджень на території, у межах якої елементи ландшафту та будівлі організовують певну об'ємно-просторову систему.

Стіни і сходи тераси останніми роками зазнали значних пошкоджень і набули аварійного стану. Так, цегляна кладка підпірної стіни верхньої тераси розморожена і зруйнована на 30 % товщини стіни (на 250 мм), сходи з верхньої тераси також зруйновані (рис. 5).



Рис. 5. Руїнування цегляної кладки підпірної стіни на глибину 250 мм / Fig. 5. The destruction of the brickwork of the retaining wall to a depth of 250 mm

Більшість балюстрад підпірних стін терас повністю зруйновані, на двох ділянках нижньої тераси цегляна кладка зруйнована і має значні просадки (рис. 6).

Домінантну палацово-паркового комплексу «Садиба» складає безпосередньо палац. Він має складну конфігурацію і складається з декількох об'ємів, зведених у різні часи – двоповерховий, цегляний, із трьома окремими підвалами у різних частинах. Фасад палацу оздоблено у псевдоготичному стилі: стрілчасті дверні і віконні прорізи, в обрамуванні профільованих архівольтів або з

мандриками на кронштейнах пояса стрілкової аркатури під увінчувальними карнизами, декоративні башти із зубцями (рис. 7).



Рис. 6. Балюстрада нижньої тераси зруйнована / Fig. 6. The balustrade of the lower terrace is destroyed



Рис. 7. Фасад палацу / Fig. 7. Facade of the palace

Також у декорванні фасадів застосовані прийоми та елементи, не характерні для готики: міжповерховий профільований карниз, лопатки, гладкий цоколь, прямокутні фільонки у підвіконнях. В оздобленні інтер'єрів палацу використано дерев'яні панелі, різьблені деталі, вітражі, тематичний і орнаментальний розпис.

Обстеженням палацу також виявлено значні дефекти і пошкодження, а деякі його частини перебувають в аварійному стані – це веранда та галереї (рис. 8).

На основі матеріалів обстеження технічного стану будівель та споруд палацово-паркового комплексу «Шарівка»

розроблено рекомендації та креслення до виконання першочергових протиаварійних робіт [1; 2; 7].



Рис. 8. Веранда палацу знаходиться в аварійному стані / Fig. 8. The veranda of the palace is in a state of emergency

3. Перспективи розвитку ансамблю «Садиба».

Палац і парк у Шарівці унікальні перш за все тим, що, незважаючи на незадовільний, а часто аварійний стан окремих об'єктів, зберігся практично в первозданному вигляді як містобудівний ансамбль, де ще можливо відчутти автентичні параметри і масштаб палацово-паркового мистецтва.

Саме завдяки цьому Шарівський палац користується високою популярністю не тільки у мешканців Харківської області та інших регіонів України, а й у закордонних гостей. Шарівська садиба – одна з найбільш цікавих садиб Східної України, з високим ступенем збереженості.

Основним напрямком розвитку території може бути раціональне розміщення в пам'ятках архітектури сучасних готельних комплексів, приватних оздоровчих пансіонатів із розвинутою торговельно-розважальною мережею, організація туристичних маршрутів і тощо.

На базі Шарівського ансамблю пропонується створити сучасний етнопарк і туристичний екокомплекс, які будуть розташовуватися поблизу значимого об'єкта історико-культурної спадщини та сприяти створенню різних умов для відпочинку: за тривалістю перебування (короткочасний і

сезонний відпочинок), за соціальним вибором (для різних вікових груп населення), за різноманітністю туристичної діяльності (оздоровчий туризм, науково-пізнавальний туризм, еко- і етнотуризм) (рис. 9).



Рис. 9. Концепція етнопарку і туристичного екокомплексу / Fig. 9. The concept of the ethnopark and tourist ecocompartment

Етнопарк розваг і відпочинку сьогодні становить потужний сегмент туристичного бізнесу, а світовий досвід говорить про високу перспективність аналогічних проєктів. Створення етнопарку – один із засобів збереження пам'яті про культурну спадщину наших предків, етнічної культури.

Концепція діяльності етнокультурного парку визначає основні принципи і механізми створення і напрямки розвитку сучасного багатофункціонального етнокультурного комплексу, що здійснює функції суспільно-політичного і ділового характеру міжнародного рівня [3; 5; 6].

Подібний комплекс орієнтований на збереження, раціональне використання, популяризацію та розвиток етнокультурної спадщини, а також на розвиток культурно-пізнавального туризму.

Етнопарк – це місце інтеграції освітніх і культурних технологій, технологій проведення дозвілля, музеїв просто неба. У таких музеях проводиться комплексна реконструкція минулого, історичні будівлі являють собою не просто окремі експонати, а й утворюють взаємопов'язаний комплекс.

Для реалізації цієї концепції використовується комплекс автентичних або аналогових житлових будинків, культових

споруд, будівель різного цільового призначення (національна кухня, народні промисли і сувеніри). Крім цього, для більш точного відчуття етносередовища, застосовуються характерні прийоми озеленення, благоустрою, автентичні деталі тактовно включаються в екстер'єрні та інтер'єрні простори.

Сценарій відвідування побудований виходячи із завдання максимально повно розкрити особливості і самобутній характер різних країн, при цьому зберігши однаково шанобливе ставлення до будь-якого народу, будь-якої релігії і культури.



Рис. 10. Схема розташування функціональної зони «Український хутір» / Fig. 10. Scheme of the location of the functional zone "Ukrainian Farm"

Проект багатофункціонального туристичного етно-екокомплексу містить у собі два етапи.

Перший – це відновлення і реабілітація палацово-паркового комплексу в селищі Шарівка, який являє собою пам'ятку архітектури національного значення.

Другий етап – зведення будівель і споруд, необхідних для організації і повноцінного відпочинку рекреантів.

Основи функціональної структури етнопарку складають дві етнічні зони (Слобідської України і Німеччини), пов'язані між собою системою пішохідних алей з майданчиками тихого і активного відпочинку, декоративними басейнами, малими формами і тощо.

Архітектурна стилістика комплексу пов'язана з історією садиби, її засновником і власником Леопольдом Кенігом, який був німцем за походженням, і з'єднує мотиви традиційної німецької архітектури та архітектурні принципи Слобожанщини (рис. 10).

Разом із цим для цілої низки об'єктів етнопарку та туристичної зони будуть використовуватись образно-художні мотиви та архітектурні принципи. Українські та німецькі традиції зберігаються не тільки в архітектурі жилих об'єктів, а й на об'єктах, що формують громадську зону комплексу, в тому числі хатинки ремісників, де за бажанням можна буде взяти участь у майстер-класі та виготовити або купити традиційні українські або німецькі сувеніри.

Уся територія палацово-паркового ансамблю, етнопарку та туристичного комплексу – це єдина зона постійної творчої активності. Тут плануються музичні та театралізовані фестивалі, періодичні та постійні виставки. На території комплексу будуть працювати на постійній основі майстерні художників, дизайнерів, скульпторів, майстерні та виставки виробів народної творчості.

Концепція визначає загальну вартість та черговість будівництва та реставрації, що дало змогу передбачити можливість паралельної реалізації першого і другого етапів.

Для першого етапу робіт під час реставрації та пристосування палацово-паркового комплексу передбачається кілька

джерел фінансування: державний та місцевий бюджет, а також кошти інвесторів.

Другий етап створення екопарку і туристичного центру планується реалізувати за рахунок залучених коштів. Реконструкція підвідних інженерних мереж і споруд, ремонт та будівництво доріг передбачається здійснювати на умовах співфінансування.

Однчасна реалізація програм першого та другого комплексів у процесі введення в експлуатацію окремих ділянок будівництва дозволить знайти кошти на реалізацію наступних етапів.

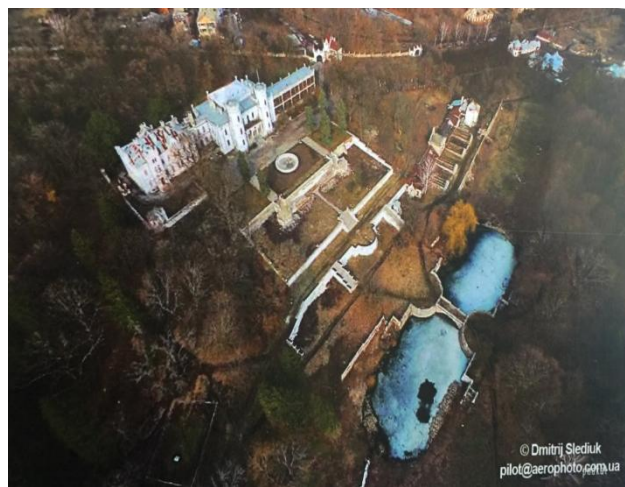


Рис. 11. Палацово-парковий комплекс із висоти пташиного польоту / Fig. 11. View of the palace complex from the bird's eye view

Висновок. Реалізація концепції діяльності етнокультурного парку дасть змогу вивести перлину архітектурного та паркового будівництва палацово-парковий комплекс «Садиба» на європейській рівень, відновити і зберегти пам'ятку архітектури національного рівня (рис. 11).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Звіт про технічний стан будівельних конструкцій будівлі «Палац», розташованого за адресою: смт. Шарівка, вул. Санаторська, 8, Богодухівський район, Харківська область. Першочергові протиаварійні роботи (реставрація) по палацово-парковому комплексу «Садиба» по вул. Санаторська (Пролетарська), 8, смт Шарівка, Богодухівській район, Харківська область. – Харків : Проектний та науково дослідний інститут «Харківський ПромбудНДІпроект», 2018. – Шифр 130-18-12. – Т. 1, кн. 2. – 25 с.
2. Звіт про технічний стан будівельних конструкцій підпирних стін і ступенів будівлі «Палац», розташованого за адресою: смт. Шарівка, вул. Санаторська, 8, Богодухівський район, Харківська область. Першочергові протиаварійні роботи (реставрація) по палацово-парковому комплексу «Садиба» по вул. Санаторська (Пролетарська), 8, смт. Шарівка, Богодухівській район, Харківська область. – Харків : Проектний та науково дослідний інститут «Харківський ПромбудНДІпроект», 2018. – Шифр 130-18-12. – Т. 1, кн. 1. – 33 с.
3. Науково-проектна документація на реабілітацію палацово-паркового комплексу «Садиба» в смт Шарівка. – Харків : НДПЦБ «СХІДБУДПРОЕКТ», 2018. – Шифр № 3815.65/1807-08/65. – 33 с.

4. Паспорт та облікова картка на пам'ятку архітектури та містобудування «САДИБА» за адресою: Харківська обл., Богодухівський р-н, смт. Шарівка, вул. Пролетарська. – Харків : ТОВ «НВП ИМПУЛЬС», 2013 р. – 45 с.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель та споруд для визначення та оцінки технічного стану. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
6. ДБН А.2.2-14-2016. Склад та зміст науково-проектної документації на реставрацію пам'яток архітектури та містобудування. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2017. – 28 с.
7. ДБН В.2.6-162:2010. Кам'яні та армокам'яні конструкції. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 97 с.

REFERENCES

1. *Zvit pro tekhnichnyy stan budivel'nykh konstruksiy budivli «Palats», roztashovanoho za adresoyu: smt. Sharivka, vul. Sanators'ka, 8, Bohodukhivs'kiy rayon, Kharkivs'ka oblast'. Pershocherhovi protyavariyni roboty (restavratsiya) po palatsovo-parkovomu kompleksu «Sadyba» po vul. Sanators'ka (Proletars'ka), 8, smt. Sharivka, Bohodukhivs'kiy rayon, Kharkivs'ka oblast'* [Report on the technical condition of the building structures of the "Palace" building, located at the following address: Sharovka municipality, Sanatorskaya St., 8, Bogodukhivsky district, Kharkiv region. Priority to emergency works (restoration) on the palace and park complex "Homestead" on the Sanatorskaya St. (Proletarskaya St.), 8, settlement Sharivka, Bogodukhivskyi district, Kharkiv region. Kharkiv : Design and Research Institute "Kharkiv PromstroINDiproekt", 2018, code 130-18-12, vol. 1, book 2, 25 p. (in Ukrainian).
2. *Zvit pro tekhnichnyy stan budivel'nykh konstruksiy budivli «Palats», roztashovanoho za adresoyu: smt. Sharivka, vul. Sanators'ka, 8, Bohodukhivs'kiy rayon, Kharkivs'ka oblast'. Pershocherhovi protyavariyni roboty (restavratsiya) po palatsovo-parkovomu kompleksu «Sadyba» po vul. Sanators'ka (Proletars'ka), 8, smt. Sharivka, Bohodukhivs'kiy rayon, Kharkivs'ka oblast'* [Report on the technical condition of the building structures of the "Palace" building, located at the following address: Sharovka municipality, Sanatorskaya St., 8, Bogodukhivsky district, Kharkiv region. Priority to emergency works (restoration) on the palace and park complex "Homestead" on the Sanatorskaya St. (Proletarskaya St.), 8, settlement Sharivka, Bogodukhivskyi district, Kharkiv region. Kharkiv : Design and Research Institute "Kharkiv PromstroINDiproekt", 2018, code 130-18-12, vol. 1, book 1, 33 p. (in Ukrainian).
3. *Naukovo-proektna dokumentatsiya na rehabilitatsiyu palatsovo-parkovoho kompleksu «Sadyba» v smt. Sharivka* [Scientific and design documentation for the rehabilitation of the palace complex "Sadyba" in the settlement Sharivka]. Kharkiv : NDPICB "SKHIDBUDPROEKT", 2018, code no. 3815.65 / 1807-08 / 65, 33 p. (in Ukrainian).
4. *Pasport ta oblikova kartka na pam'yatku arkhitektury ta mistobuduvannya «SADYBA» za adresoyu: Kharkivs'ka oblast', Bohodukhivs'kiy rayon, smt. Sharivka, vul. Proletars'ka* [Passport and card for the sight of architecture and urban development "SADIBA" at the address: Kharkiv region, Bogodukhiv district, settlement Sharivka, Proletarska St.]. Kharkiv : LLC "SIE IMPULS", 2013, 45 p. (in Ukrainian).
5. *DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennya budivel' ta sporud dlya vyznachennya ta otsinky tekhnichnoho stanu* [Guidance on the inspection of buildings and structures for the determination and assessment of technical condition]. Kiyv : SC "UkrNDNTs", 2017, 44 p. (in Ukrainian).
6. *DBN A.2.2-14-2016. Sklad ta zmist naukovo-proektnoyi dokumentatsiyi na restavratsiyu pam'yatok arkhitektury ta mistobuduvannya* [The composition and content of the scientific and design documentation for the restoration of architectural monuments and urban development]. Kiyv : SC "UkrNDNTs", 2017, 28 p. (in Ukrainian).
7. *DBN V.2.6-162:2010. Kamyani ta armokamyani konstruksiyi* [Stone and stone stone structures]. Kiyv : SC "UkrNDNTs", 2011, 97 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.06.2019 р.

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

Редколегія не завжди поділяє авторську точку зору.

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

Адреса редакції:

✉ Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24-а,
кімната 558 (відповідальний секретар), кімната 203-а (редакційно-видавничий відділ),

☎ +38(050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Підписано до друку 07.07.2019 р. Формат 60×84 1/8.

Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 6,94. Умовн. фарб.-відб. арк. 6,94.

Обл.-видавн. арк. 13,88. Тираж 300 прим. Зам. 149

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 ГВУЗ ПГАСА.

Адрес редакции:

✉ Украина, 49600, г. Днепро, ул. Чернышевского, 24-а,
комната 558 (ответственный секретарь), комната 203-а (редакционно-издательский отдел).

☎ +38(050) 452-43-63

e-mail: : mitomdnipro1997@gmail.com

Подписано к печати 07.07.2019 г. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,94. Усл. кр.-отт. л. 6,94.

Уч.-изд. л. 13,88. Тираж 300 экз. Зак. 149

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

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

Desktop publishing and printing are performed in the Editorial Department of SHEI PSACEA.

Editorial address:

✉ room 558 (Executive Secretary), room 203a (Editorial Department
24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine).

☎ +38(050) 452-43-63

e-mail: : mitomdnipro1997@gmail.com

Sent to press on 07 July 2019. Format 60×84 1/8.

Offset printing. Conventional quire 6,94. Conventional colour imprints 6,94.

Publisher's signatures 13,88. Number of copies 300. Order 149