

**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**

**№ 4 (255-256)**  
липень – серпень 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 № 1 від 30.08.2019 р.
Сайт видання	<a href="http://visnyk.pgasa.dp.ua">http:// visnyk.pgasa.dp.ua</a>
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**

**№ 4 (255-256)  
июль – август 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 № 1 от 30.08.2019 г.
Сайт издания	<a href="http://visnyk.pgasa.dp.ua">http:// visnyk.pgasa.dp.ua</a>
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**

**№ 4 (255-256)**

**July – August 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. 1 from 30.08.2019
Journal website	<a href="http://visnyk.pgasa.dp.ua">http:// visnyk.pgasa.dp.ua</a>
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

Бабій І. М., Менеїлюк І. О., Кучеренко Л. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗОВНІШНЬОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ФАСАДІВ .....	10
Дерев'яно В. М., Мосьпан В. І. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ І ВИКОРИСТАННЯ НАНОСИСТЕМ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	16
Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С. ЗВЕДЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ЗА КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНОЮ СІП ТЕХНОЛОГІЄЮ .....	23
Іродов В. Ф., Ткачова В. В., Чорноморець Г. Я. ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ПОШУК ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАДАЧАХ СОНЯЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ .....	29
Кравчуновська Т. С., Спіфанцева С. В. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СПОРУДЖЕННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ.....	35
Коліснікова Т. М., Татарчук О. В., Заяць Г. В., Стадник В. Л., Коноваленко Ю. І. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ БЕЗШАТУННОГО ДВИГУНА.МОДЕЛЬ ЦИЛІНДРА.....	48
Попов О. О., Гострик А. М., Црноя А. ВПЛИВ ЩІЛЬНОСТІ ПАНЕЛІ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГУМОВОЇ КРИХТИ НА ПОКАЗНИК ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ .....	57
Савицький М. В., Фролов М. О. ВЕЛИКОПРОЛЬОТНІ БАЛКОВІ КЛІТКИ. УРАХУВАННЯ ЖОРСТКОГО ДИСКА СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ .....	64
Сейтасанов Е. Р. ГЕОМЕТРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КРИМСЬКОТАТАРСЬКОГО ЖИТЛА .....	70
Хмара Л. А., Кроль Р. М. НАУКОВІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІННОВАЦІЙНОГО ТЕЛЕСКОПІЧНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА БУЛЬДОЗЕРА (НА ОСНОВІ ЗАГАЛЬНИХ ТЕОРІЙ ВЗАЄМОДІЇ ВІДВАЛЬНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ІЗ СЕРЕДОВИЩЕМ).....	79
Шехоркіна С. Є., Кесарійський О. Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕФОРМУВАННЯ ТА МІЦНОСТІ ДЕРЕВИНИ НА ВДАВЛЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ГОЛОГРАФІЧНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ .....	93

Бабий И. Н., Менеялюк И. А., Кучеренко Л. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВНЕШНЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ФАСАДОВ .....	10
Деревянко В. Н., Мосьпан В. И. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОСИСТЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	16
Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С. ВОЗВЕДЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПО КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНОЙ СИП-ТЕХНОЛОГИИ .....	23
Иродов В. Ф., Ткачева В. В., Черноморец Г. Я. ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОИСК ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СОЛНЕЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ .....	29
Кравчуновская Т. С., Епифанцева С. В. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ.....	35
Колесникова Т. Н., Татарчук А. В., Заяц Г. В., Стадник В. И., Коноваленко Ю. И. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА БЕСШАТУННОГО ДВИГАТЕЛЯ. МОДЕЛЬ ЦИЛИНДРА .....	48
Попов О. А., Гострик А. Н., Црняя А. ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПАНЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ .....	57
Савицкий Н. В., Фролов Н. А. БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ БАЛОЧНЫЕ КЛЕТКИ. УЧЕТ ЖЕСТКОГО ДИСКА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ .....	64
Сейтасанов Э. Р. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КРЫМСКОТАТАРСКОГО ЖИЛЬЯ .....	70
Хмара Л. А., Кроль Р. М. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИННОВАЦИОННОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА БУЛЬДОЗЕРА (НА ОСНОВЕ ОБЩИХ ТЕОРИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТВАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СО СРЕДОЙ).....	79
Шехоркина С. Е., Кесарийский А. Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА ВДАВЛИВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ .....	93



**INSIDE**

Babii I. M., Meneiliuk I. O., Kucherenko L. V. RESEARCH OF OPERATIONAL EFFICIENCY OF SYSTEMS OF EXTERNAL HEAT INSULATION OF FACADES .....	10
Derevianko V. M., Mospan V. I. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND THE METHOD OF USE OF NANOSYSTEMS IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS, STRUCTURALLY-LOGIC SCHEME OF RESEARCH .....	16
Diachenko L. Yu., Diachenko O.S. CONSTRUCTION OF ENERGY-EFFICIENT LOW-RISE BUILDINGS BY FRAME-PANEL SIP TECHNOLOGIES .....	23
Irodov V. F., Tkachova V. V., Chornomorets H. Ya. EVOLUTIONARY SEARCH FOR DECISION MAKING IN SOLAR ARCHITECTURE PROBLEMS .....	29
Kravchunovska T. S., Yepifantseva S. V. SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE MODELS OF SUBSTANTIATION OF RATIONAL ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS .....	35
Kolisnikova T. M., Tatarchuk O. V., Zaiats H. V., Stadnyk V. I., Konovalenko Yu. I. THEORETICAL INVESTIGATION OF OPERATING PROCESS OF CONROD-FREE MODEL CYLINDER .....	48
Popov O. O., Hostryk A. M., Tsnoja A. EFFECT OF PANEL DENSITY WITH THE APPLICATION OF RUBBER CRUMB ON THE SOUND INSULATION INDICATOR .....	57
Savytskyi M.V., Frolov M. O. LONG-SPAN BEAM CELLS. CONSIDERING THE RIGIDITY OF THE STEEL AND CONCRETE FLOOR SLAB .....	64
Seitasanov E. R. GEOMETRICAL BACKGROUND OF ARCHITECTURAL-PLANNING ORGANIZATION OF CRIMEAN-TATAR HOUSING .....	70
Khmara L. A., Krol R. M. SCIENTIFIC BASES OF THE OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF INNOVATIVE TELESCOPIC WORKING BODY OF A BULLDOZER (ON BASIS OF GENERAL THEORIES COOPERATION OF DUMP WORKING BODIES WITH ENVIRONMENT).....	79
Shekhorkina S. Ye., Kesariiskyi A. H. INVESTIGATION THE PECULIARITIES OF DEFORMATION AND STRENGTH OF TIMBER USING LASER INTERFEROMETRY METHOD .....	93

УДК 69.022.32

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.10.505

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗОВНІШНЬОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ФАСАДІВ

БАБІЙ І. М.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,

МЕНЕЙЛЮК І. О.<sup>2</sup>, к. т. н.,

КУЧЕРЕНКО Л. В.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 771-69-69, e-mail: [igor7617@gmail.com](mailto:igor7617@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

<sup>2</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, e-mail: [meneyiv@gmail.com](mailto:meneyiv@gmail.com), ORCID: 0000-0001-7075-2898

<sup>3</sup> Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, 21021, Вінниця, Україна, e-mail: [liliya13liliya@gmail.com](mailto:liliya13liliya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0348-3610

**Анотація.** *Постановка проблеми.* У вирішенні інженерно-технологічних питань, щодо вибору теплоізоляції одним із найголовніших і відповідальних постає завдання оцінювання термінів експлуатаційної ефективності технологічних систем навісних вентилярованих фасадів. Вирішення проблеми зводиться до визначення в задані проміжки часу найбільш вагомий показник якості системи, яким є опір теплопередачі. За експлуатаційну ефективність навісного вентиляваного фасаду прийнятий безремонтний період експлуатації, за якого система зберігає розрахунковий нормативний показник опору теплопередачі. **Мета дослідження.** Метою даної роботи є визначення експлуатаційної ефективності навісних вентилярованих фасадних систем із різними конструктивно-технологічними рішеннями. Для досягнення мети поставлено такі завдання: запропонувати формулу для визначення експлуатаційної ефективності; визначити термін експлуатаційної ефективності навісних фасадних систем із різними конструктивно-технологічними рішеннями для різних кліматичних районів України. **Висновок.** Використання в навісних вентилярованих фасадах як теплоізоляційного матеріалу мінераловатного утеплювача щільністю 40 кг/м<sup>3</sup> – недоцільне. Для збільшення терміну ефективної експлуатації навісного вентиляваного фасаду необхідно застосовувати мінераловатний утеплювач із щільністю 150 кг/м<sup>3</sup>. Тоді виконувати ремонтні роботи фасадних систем під час нормативного терміну експлуатації не потрібно. Термін ефективної експлуатації фасадних систем із щільністю мінераловатного утеплювача 150 кг/м<sup>3</sup> і товщиною 50 і 70 мм, для II і I кліматичних зон, відповідно, становить понад 25 років.

**Ключові слова:** навісні вентилявані фасади; теплоізоляція фасадів; мінераловатний утеплювач; емісія волокон; експлуатаційна ефективність

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВНЕШНЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ФАСАДОВ

БАБІЙ І. М.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,

МЕНЕЙЛЮК І. О.<sup>2</sup>, к. т. н.,

КУЧЕРЕНКО Л. В.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (048) 771-69-69, e-mail: [igor7617@gmail.com](mailto:igor7617@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

<sup>2</sup> Кафедра технологии строительного производства, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская, 40, 61002, Харьков, Украина, e-mail: [meneyiv@gmail.com](mailto:meneyiv@gmail.com), ORCID: 0000-0001-7075-2898

<sup>3</sup> Кафедра строительства, городского хозяйства и архитектуры, Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, 21021, Винница, Украина, e-mail: [liliya13liliya@gmail.com](mailto:liliya13liliya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0348-3610.

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* При решении инженерно-технологических задач по выбору теплоизоляции одной из самых главных и ответственных является задача оценки сроков эксплуатационной эффективности технологических систем навесных вентилируемых фасадов. Решение такой задачи сводится к определению в заданные промежутки времени наиболее значимого показателя качества системы, которым является сопротивление теплопередаче. За эксплуатационную эффективность навесного вентилируемого фасада принят безремонтный период эксплуатации, при котором система сохраняет расчетный нормативный показатель сопротивления теплопередаче. **Целью** данной работы является определение эксплуатационной эффективности навесных фасадных систем с различными конструктивно-технологическими решениями. Для достижения цели поставлены следующие задачи: предложить формулу для определения эксплуатационной эффективности; установить срок эксплуатационной эффективности навесных фасадных систем с различными конструктивно-технологическими решениями для различных климатических районов Украины.

**Вывод.** Использование в навесных вентилируемых фасадах в качестве теплоизоляционного материала минераловатного утеплителя с плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  – нецелесообразно. Для увеличения срока эффективной эксплуатации навесного вентилируемого фасада необходимо применять минераловатный утеплитель с плотностью  $150 \text{ кг/м}^3$ . Ремонт фасадной системы во время нормативного срока эксплуатации в таком случае не требуется. Срок эффективной эксплуатации фасадных систем с плотностью минераловатного утеплителя  $150 \text{ кг/м}^3$  и его толщиной 50 и 70 мм для II и I климатических зон, соответственно, составляет более 25 лет.

**Ключевые слова:** навесные вентилируемые фасады; теплоизоляция фасадов; минераловатный утеплитель; эмиссия волокон; эксплуатационная эффективность

## RESEARCH ON OPERATIONAL EFFICIENCY OF SYSTEMS OF EXTERNAL HEAT INSULATION OF FACADES

BABII I.M.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
MENEILYUK I.O.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
KUCHERENKO L.V.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Technology of Building Production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrikhsona Str., 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38 (048) 771-69-69, e-mail: [igor7617@gmail.com](mailto:igor7617@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

<sup>2</sup> Department of Technology of Building Production, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture; 40, Sumska Str., 61002, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [meneviv@gmail.com](mailto:meneviv@gmail.com), ORCID: 0000-0001-7075-2898

<sup>3</sup> Department of Building, Urban and Architecture, Vinnytsia National Technical University, 95, Khmelnytske Shosse, 21021, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: [liliya13liliya@gmail.com](mailto:liliya13liliya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0348-3610

**Abstract. Problem statement.** When solving engineering and technological problems in the choice of thermal insulation one of the most important and responsible tasks is the task of estimating the terms of operational efficiency of technological systems of hinged ventilated facades. The solution to this problem is to determine at the given intervals the most significant indicator of the quality of the system, which is the resistance of heat transfer. For operational efficiency of the hinged ventilated facade, a non-repair period of operation was adopted, in which the system retains the calculated normative index of heat transfer resistance. **Purpose.** The purpose of the article is to determine the operational efficiency of the hinged ventilated facade systems with various structural and technological solutions. To achieve this goal, the following tasks are defined: to propose a formula for determining operational efficiency; to determine the term of operational efficiency of hinged facade systems with various structural and technological solutions for various climatic regions of Ukraine. **Conclusion.** The use of hinged ventilated facades as thermal insulation material of mineral wool heater with a density of  $40 \text{ кг/м}^3$  – is impractical. To increase the effective life of the hinged ventilated facade, it is necessary to use a mineral wool heater with a density of  $150 \text{ кг/м}^3$ . This is due to the fact that the repair work of the facade systems, during the regulatory life, is not required. The effective life of facade systems with a density of mineral wool insulation of  $150 \text{ кг/м}^3$  and a thickness of 50 mm and 70 mm, for II and I climatic zones, respectively, is more than 25 years.

**Keywords:** hinged ventilated facades, facade thermal insulation, mineral wool insulation, emissions of fibers, operational efficiency

**Постановка проблеми.** У вирішенні інженерно-технологічних питань щодо вибору теплоізоляції одним із найголовніших і відповідальних постає завдання оцінювання термінів експлуатаційної ефективності технологічних систем вентильованих фасадів. За такого оцінювання можливо проектувати системи із заданим комплексом фізико-механічних властивостей з мінімумом витрат матеріальних і енергетичних ресурсів. Вирішення проблеми зводиться до визначення найбільш значимого показника якості системи, яким є опір теплопередачі.

За експлуатаційну ефективність вентильованого фасаду прийнятий

безремонтний період експлуатації, коли система зберігає розрахунковий нормативний показник опору теплопередачі.

**Аналіз публікацій.** Утеплення і термомодернізація будівель в останні десятиліття – одне з пріоритетних питань економії ресурсів та енергозбереження. У той же час, у працях дослідників мало вивчене питання про терміни ефективної експлуатації систем теплоізоляції, в тому числі навісних вентильованих систем (НВФ) [1–3]. При цьому в нормативних документах є відомості, що середній термін експлуатації навісних вентильованих фасадів становить 50 років, а гарантійний термін – усього лише 5,5 року, з урахуванням суворого

дотримання нормативних вимог під час монтажу. Однак, як показали дослідження, обумовлених термінів експлуатації дотримуватися досить важко. Тому бачаться актуальними дослідження з визначення терміну ефективної експлуатації навісних вентиляованих фасадів із різними конструктивно-технологічними рішеннями для об'єктів, що будуються на території України.

**Мета** роботи – визначення експлуатаційної ефективності навісних вентиляованих фасадних систем із різними конструктивно-технологічними рішеннями.

Для досягнення слід виконати такі завдання:

- запропонувати формулу для визначення експлуатаційної ефективності;
- визначити термін експлуатаційної ефективності навісних фасадних систем із різними конструктивно-технологічними рішеннями для різних кліматичних районів України.

**Виклад матеріалу.** В теплоізоляційних навісних системах вентиляованих фасадів одним з основних матеріалів, який багато в чому характеризує експлуатаційну ефективність, бачиться мінераловатний утеплювач.

Згідно з даними, отриманими експериментально-теоретичним шляхом [4], встановлено вплив кліматичних і технологічних факторів на теплопровідність мінераловатних утеплювачів різної щільності. Становило інтерес перевірити їх достовірність і визначити коефіцієнт збіжності результатів досліджень. Для цих цілей скористатися простим розрахунком не уявляється коректним. Тому в подальшому використовувалися результати досліджень навісних вентиляованих фасадів у натурних умовах.

Результати досліджень температури повітряного зазору систем навісних вентиляованих фасадів, отримані в натурних умовах за допомогою тепловізора, дозволили встановити опір теплопередачі утеплювача:

$$R_{\text{ут}}^{\text{експ}} = R_{\text{пр}}^{\circ} - R_{\text{факонстр.}}^{\text{пр}} - R_{\text{о.обл.}}^{\text{пр}} \quad (1)$$

де  $R_{\text{о.констр.}}^{\text{пр}}$ ,  $R_{\text{о.обл.}}^{\text{пр}}$  – зведений опір теплопередачі частин конструкції від внутрішньої поверхні до повітряного прошарку та від повітряного прошарку до зовнішньої поверхні конструкції відповідно,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_{\text{о}}^{\text{пр}}$  – зведений опір теплопередачі всієї конструкції,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , згідно з формулами, запропонованими В. Г. Гагаріним, В. В. Козловим, Є. Ю. Цикановським [5; 6].

Аналіз порівняння результатів, отриманих у лабораторних умовах експериментально-теоретичним шляхом, із результатами згідно з розрахунками за формулою (1) дав можливість визначити відповідність результатів досліджень лабораторних із натурними. Таку величину прийнято називати збіжністю результатів.

Отримана величина збіжності дозволяє розраховувати зміну в часі величини опору теплопередачі технологічних систем теплоізоляції навісних фасадів.

Таким чином, у загальному вигляді формула для визначення експлуатаційної ефективності має вигляд:

$$E_E = n_e \times k_{\text{зб}} \times k_{\text{у.е.}}; \quad (2)$$

де:  $n_e$  – розрахунковий показник опору теплопередачі системи, отриманий на основі дійсних досліджень [4];

$k_{\text{зб}}$  – коефіцієнт збіжності (відношення розрахункових до результатів, отриманих після визначеного терміну експлуатації НВФ у натурних умовах);

$k_{\text{у.е.}}$  – коефіцієнт умов експлуатації запроєктованої системи, який показує їх особливості. За швидкості повітряних потоків у вентиляованому прошарку до 1 м/с він дорівнює 1. За більш високих швидкостей цей показник дорівнює 0.5...0.8.

Дослідження за допомогою тепловізора будівель із навісними фасадними системами, з мінераловатними утеплювачами щільностями 40, 80, 150  $\text{кг}/\text{м}^3$ , які експлуатувалися протягом понад 5 років, показали такі результати в процесі розрахунку. Встановлено, що у разі використання як утеплювача мінеральної вати із щільністю 40  $\text{кг}/\text{м}^3$  у НВФ опір теплопередачі його склав через 5 років 0.8  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , що порівнюється з 4,2

умовними роками. Таким чином, коефіцієнт збіжності ( $\kappa_{зб}$ ) склав 1,19. Для мінеральної вати щільністю  $80 \text{ кг/м}^3$   $\kappa_{зб} = 0,9$ , а для щільності мінеральної вати  $150 \text{ кг/м}^3$  –  $\kappa_{зб} = 0,95$ .

Слід зазначити, що отримані значення коефіцієнтів збіжності справедливі тільки за умови точного дотримання запропонованої методики [7] і повної відповідності розглянутих технологічних систем.

Для аналізу практичного використання результатів досліджень як вихідних порівнюваних розрахункових технологічних схем прийняті системи НВФ із декількома конструктивно-технологічними рішеннями. Конструктив їх прийнято згідно ДСТУ Б.В.-2.6-33 такий:

- стіна з газобетонного блока товщиною 300 мм, щільністю  $500 \text{ кг/м}^3$  і теплопровідністю  $0,25 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ ;

- шар теплоізоляції:

- для II температурної зони – одношарова теплоізоляція товщиною 50 мм (порівнювалися три системи з різними щільностями мінераловатного утеплювача. 1-ша система –  $40 \text{ кг/м}^3$ , 2-га система –  $80 \text{ кг/м}^3$  та 3-тя –  $150 \text{ кг/м}^3$ , із середньою теплопровідністю  $0,042 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ ) (табл. 1);

- для I температурної зони – двох шарова теплоізоляція товщиною 70 мм (порівнювалися дві системи з різними щільностями мінераловатного утеплювача: 4-та система –  $80 \text{ кг/м}^3$  (70 мм), 5-та система – « $80$  (50мм) +  $150$  (20 мм)  $\text{кг/м}^3$ », та середньою теплопровідністю  $0,044 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ ) (табл. 2);

- облицювальні панелі з керамічної плитки товщиною 6 мм, теплопровідністю  $0,96 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ .

На наступному етапі становило інтерес визначити можливість використання мінераловатного утеплювача різної щільності в разі їх застосування без улаштування вітрозахисної мембрани за критерієм емісії волокон як елемента підвищеної пожежонебезпеки.

Дослідження показують, що період ефективної експлуатації вентиляованих фасадних систем багато в чому залежить від обраної щільності мінераловатного

утеплювача. Встановлено, що під час вивітрювання утеплювача, тобто емісії волокон з його поверхні, змінюється його опір теплопередачі [4].

У таблиці 1 наведено результати розрахунку опору теплопередачі фасадних систем різної щільності, згідно з розрахунковими схемами, розглянутими вище. Розрахунки проведені відповідно до методики оцінювання експлуатаційної ефективності.

Із таблиці 1 видно, що використання мінераловатного утеплювача щільністю  $40 \text{ кг/м}^3$  без вітрозахисної мембрани недоцільне. Це викликано тим, що, як показали результати досліджень, через п'ять років опір теплопередачі стає меншим нормативного. Для міста Одеси він становить  $2,8 \text{ м}^2\cdot\text{K/Вт}$ . Тому в подальшому виконаний аналіз економічних показників тільки для систем з утеплювачами щільністю  $80$  і  $150 \text{ кг/м}^3$ .

Для першої кліматичної зони, з таким само конструктиві стіни (газобетон товщиною 300 мм), визначимо мінімально необхідну товщину утеплювача відповідно до теплотехнічного розрахунку і результатів досліджень із вивітрювання.

У таблиці 2 наведено результати розрахунку опору теплопередачі фасадних систем з одно- і двошаровою теплоізоляцією на основі утеплювача різної щільності, згідно з розрахунковою схемою. Розрахунки проведені відповідно до методики оцінювання експлуатаційної ефективності.

Слід зазначити, що в практиці проектування для розрахунків опору теплопередачі системи навісного вентиляованого фасаду необхідно керуватися певними правилами, а саме: виходячи з наведених вище досліджень щодо зменшення товщини матеріалу теплоізоляції виходить таке. Внаслідок емісії волокон із поверхні мінераловатного утеплювача відповідно зменшиться й опір теплопередачі системи в цілому. Таким чином, вихідний розрахунковий показник опору теплопередачі конструкції фасадної системи, відповідно до встановленого дослідженнями правила, повинен

перевищувати його нормативну величину через 25 умовних років експлуатації, в середньому, на 24 % для другої кліматичної зони і на 20 % – для першої.

У свою чергу, результати розрахункових досліджень показали, що утеплювач із високою щільністю, 150 кг/м<sup>3</sup>, після умовних 25 років експлуатації характеризується нормативним показником опору теплопередачі. Необхідно відзначити, що навіть за швидкості вітрового потоку в

лабораторній установці, яка в кілька разів перевищує реальні величини, емісія волокон настільки мала, що нею можна знехтувати. Тому для підвищення пожежної безпеки фасаду і зменшення ризиків порушення культури виробництва за такої щільності утеплювача вітрозахисна мембрана (в основному, як досить горючий матеріал (клас Г2)) в системі теплоізоляції не потрібна.

Таблиця 1

**Результати досліджень технологічних систем при експлуатації через задані проміжки часу для II температурної зони / The results of studies of technological systems during operation at specified intervals for the II temperature zone**

Щільність утеплювача в системі, кг/м <sup>3</sup>	R <sub>поч.</sub> , м <sup>2</sup> ·К/Вт	R <sub>рік</sub> , м <sup>2</sup> ·К/Вт						
		1 рік	3 роки	5 років	7 років	8 років	9 років	27 років
40	3,395	3,187	2,981	2,528	–	–	–	–
80	3,498	3,321	3,142	3,002	2,900	2,836	2,783	–
150	3,470	3,379	3,248	3,163	3,130	3,047	3,026	2,790

Таблиця 2

**Результати досліджень технологічних систем при експлуатації через задані проміжки часу для I температурної зони / The results of studies of technological systems during operation at specified intervals for the I temperature zone**

Щільність утеплювача в системі, кг/м <sup>3</sup> (товщина шару теплоізоляції, мм)	R <sub>поч.</sub> , м <sup>2</sup> ·К/Вт	R <sub>рік</sub> , м <sup>2</sup> ·К/Вт						
		1 рік	3 роки	5 років	7 років	8 років	9 років	27 років
80 (70 мм)	3,974	3,797	3,618	3,478	3,376	3,312	3,259	–
80 (50 мм) + +150 (20 мм)	3,946	3,855	3,724	3,639	3,606	3,523	3,502	3,266

У разі використання мінераловатного утеплювача із щільністю 80 кг/м<sup>3</sup> через 25 умовних років експлуатації система теплоізоляції не відповідає нормативному значенню. Причому для такої системи нормативний показник зберігається в разі експлуатації протягом 8–9 років. Тому для таких систем можна рекомендувати улаштування вітрогідрозахисної мембрани, але тільки з негорючих матеріалів (клас горючості НГ).

Відомо, що під час горіння мембрани температура в повітряному прошарку піднімається понад 700 °С. Це, у свою чергу, може спричинити випаровування

фенолоформальдегідних смол (у виробках із мінеральної (кам'яної) вати на синтетичному зв'язуючому (фенолоформальдегідні смоли), яке відбувається за температури близько 300...350 °С, тобто починається процес деструкції зв'язуючого, що сполучає волокна мінеральної вати) і займання захисно-декоративного екрана, наприклад, влаштованого з композитних панелей з низьким класом горючості (Г3-Г4).

**Висновки**

Встановлено:

1. Використання в вентильованих фасадах як теплоізоляційного матеріалу мінераловатного утеплювача із щільністю

40 кг/м<sup>3</sup> – недоцільне.

2. Для збільшення терміну ефективної експлуатації вентильованого фасаду необхідно застосовувати мінераловатний утеплювач із щільністю 150 кг/м<sup>3</sup> без вітрозахисної мембрани, а з 80 кг/м<sup>3</sup> – з нею. Ремонт фасадних систем під час

нормативного терміну експлуатації виконувати не потрібно.

3. Термін ефективної експлуатації фасадних систем із щільністю мінераловатного утеплювача 150 кг/м<sup>3</sup> і товщиною 50 і 70 мм для II і I кліматичних зон, відповідно, становить понад 25 років.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусев Б. В. Изменение линейных размеров минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 8. – С. 32–34.
2. Матросов Ю. А. Новые государственные нормы Украины «Тепловая изоляция зданий» по показателю энергоэффективности / Ю. А. Матросов, Г. Г. Фаренюк // Жилищное строительство. – 2007. – № 11. – С. 8–13.
3. Dagnall M. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed façade system / M. Dagnall, A. Windov, A. Leung, D. Thompson // Proceedings of Building Simulation : 12<sup>th</sup> Conference of International Building Performance Simulation Association (14–16 November). – Sydney, 2011. – Pp. 808–815.
4. Бабій І. М. Визначення емісії волокон мінераловатного утеплювача в вентильованих фасадах / І. М. Бабій, І.О. Менеїлюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2014. – № 2 (17). – С. 26–31.
5. Гагарин В. Г. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором. Часть 1 / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, Е. Ю. Цыкановский // АВОК. – № 2. – 2004. – С. 35–41. – Режим доступа : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2335](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2335)
6. Гагарин В. Г. Моделирование эмиссии волокон из минераловатного утеплителя навесной фасадной системы с вентилируемой прослойкой / В. Г. Гагарин, С. В. Гувернюк, К. И. Лушин // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 9. – С. 27–29.
7. Менеїлюк І. А. Разработка методики определения эмиссии волокон минераловатного утеплителя в вентилируемых фасадах / И. А. Менеїлюк // Вісник ОДАБА. – 2014. – Вип. 55. – С. 171–176.

### REFERENCES

1. Gusev B.V., Yezerskiy V.A. and Monastirev P.V. *Izmeneniye lineynykh razmerov mineralovatnykh plit v usloviyakh ekspluatatsionnykh vozdeystviy* [Changing the linear dimensions of mineral wool slabs under operational conditions]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2004, no. 8, pp. 32–34. (in Russian).
2. Matrosov Yu.A. and Farenjuk G.G. *Novyye gosudarstvennyye normy Ukrainy «Teplovaya izolyatsiya zdaniy» po pokazatelyu energoeffektivnosti* [New state standards of Ukraine “Thermal insulation of buildings” in terms of energy efficiency]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. [Housing construction]. 2007, no. 11, pp. 8–13. (in Russian).
3. Dagnall M., Windov A., Leung A. and Thompson D. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed façade system. *Proceedings of Building Simulation : 12<sup>th</sup> Conference of International Building Performance Simulation Association (14–16 November)*, Sydney, 2011, pp. 808–815.
4. Babiy I.M. and Meneilyuk I.O. *Vyznachennya emisiyi volokon mineralovatnoho uteplyuvacha v ventil'ovanikh fasadakh* [Determination of emission of mineral wool heater fibers in ventilated facades]. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy y konstruktsiyi v budivnytstvi* [Modern Technologies, Materials and Structures in Construction]. Vinnitsya: UNIVERSUM, 2014, no. 2 (17), pp. 26–31. (in Ukrainian).
5. Naharin V.H., Kozlov V.V. and Tsykanovskiy E.YU. *Teplozakhyst fasadiv z ventyl'ovanyim povitryanym zazorom. Chast'1.* [Thermal protection of facades with a ventilated air gap. Part 1.] AVOK, 2004, no. 2, pp. 35–41 (in Russian).
6. Naharin V.H., Huvornyuk S.V. and Lushyn K.I. *Modelyuvannya emisiyi volokon z nanesty uteplyuvacha navisnyy fasadnoyi systemy z ventyl'ovanyim prosharkom* [Modeling the emission of fibers from mineral wool insulation of a curtain facade system with a ventilated interlayer]. *Promyslove ta tsyvil'ne budivnytstvo* [Industrial and civil engineering]. 2013, no. 9, pp. 27–29. (in Russian).
7. Meneilyuk I.A. *Rozrobka metodyky vyznachennya emisiyi volokon mineralovatnoho uteplyuvacha v ventyl'ovanykh fasadakh* [Development of methods for determining the emission of mineral wool insulation in ventilated facades]. *Visnyk ODABA* [Bulletin of OSACEA ]. 2014, vol. 55, pp. 171–176. (in Russian).

Надійшла до редакції 30.06.2019 р.

УДК 624.012.3:620.179.16

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.17.506

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ І МЕТОДУ ВИКОРИСТАННЯ НАНОСИСТЕМ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.,

МОСЬПАН В. І.<sup>2\*</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup> Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [dereviankoviktor@i.ua](mailto:dereviankoviktor@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-3601-2594

<sup>2\*</sup> 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 (056) 756-33-76, e-mail: [vovamospan@i.ua](mailto:vovamospan@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

**Анотація.** Використання модифікуючих добавок – ефективний засіб цілеспрямованого впливу на властивості в'язучих речовин. Велика кількість публікацій присвячена вивченню цих проблем, проте багато аспектів впливу добавок ще не відомі, отримані результати не систематизовані і їх поки що неможливо висловити в аналітичній формі комплексного характеру їх дії. **Постановка проблеми.** Структура штучного каменю утворюється під час твердіння в'язучої речовини. Цей процес взаємопов'язаний із процесом гідратації, для нього характерна зміна структурних станів, за яких переважають міжчастинкові контакти певного типу. Чинити керуючий вплив на процеси гідратації і тверднення можливо лише за умови правильного розуміння їх механізму. Шляхом спрямованої зміни структури, зокрема, адсорбційного модифікування, можна домогтися істотного поліпшення фізико-механічних і експлуатаційних характеристик. Один з ефективних засобів цілеспрямованого впливу на ці процеси – використання модифікуючих добавок. **Мета роботи** – встановлення відмінностей у формуванні модифікованої структури гіпсової матриці за спільної дії мікро- та нанодисперсних добавок за присутності пластифікатора, а також їх впливу на функціональні і технологічні характеристики. Швидкість процесу розчинення і росту твердої системи залежить від початкової концентрації речовини, питомої поверхні, константи швидкості процесу і градієнта концентрації розчину на поверхні частинок в об'ємі речовини. **Методи.** Розв'язання задачі оптимальної модифікації вимагає виявлення залежності між видом, концентрацією, складом, способом уведення модифікуючих добавок і одержуваними функціональними характеристиками в'язучого матеріалу. Результати свідчать, що швидкість і форма утворених кристалів істотно змінюються за наявності в розчині пластифікатора й ультрадисперсних частинок. **Результати.** У разі додавання в гіпсову систему ультра- і нанорозмірних частинок через підвищену питому поверхню останніх збільшується концентрація точкових контактів і змінюється кінетика утворення. Виникають контактно-конденсаційні зв'язки, утворення яких стимулюється наявністю в системі нанорозмірних частинок, при цьому фіксація частинок переходить із дальньої коагуляції у ближню. Топологія структури, швидкість і форма зародження кристалів істотно змінюються у разі зміни умов твердіння (температура, водо-тверде відношення, рН, тиск). Взаємозв'язок між будовою кристалічної решітки сульфату кальцію і механізмом росту за присутності модифікуючих добавок впливає з кристалохімічного аналізу структури гіпсових в'язучих. Тобто залежно від виду добавки можна інтенсифікувати або, навпаки, уповільнити швидкість росту відповідних граней кристала, що викликає до зміну форми кристала, і відповідно, фізико-хімічних характеристик утвореного твердого тіла. **Висновок.** Дослідження впливу добавок на формування кристалів тривають, але вже ці отримані результати свідчать, що швидкість і форма утворених кристалів істотно змінюються за наявності в розчині пластифікатора й ультрадисперсних частинок.

**Ключові слова:** модифікуючі добавки; структура; нанодисперсні добавки; кристали; вугільні нанотрубки; таврит; пластифікатор

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОСИСТЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЙ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.<sup>1</sup>, д. т. н., доц.,

МОСЬПАН В. І.<sup>2\*</sup>, к. т. н., доц.



<sup>1</sup> Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Дніпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [dereviankoviktor@i.ua](mailto:dereviankoviktor@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-3601-2594

<sup>2\*</sup> Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Дніпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [yovamospan@i.ua](mailto:yovamospan@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

**Аннотация.** Использование модифицирующих добавок является эффективным средством целенаправленного воздействия на свойства вяжущих веществ. Большое количество публикаций посвящено изучению этих проблем, однако многие аспекты влияния добавок еще не известны, полученные результаты не систематизированы, и их пока что невозможно выразить в аналитической форме комплексного характера их действия. **Постановка проблемы.** Структура искусственного камня, образующегося при твердении вяжущего вещества. Этот процесс взаимосвязан с процессом гидратации, для него характерна смена структурных состояний, при которых преобладают межчастичные контакты определенного типа. Оказывать управляющее воздействие на процессы гидратации и твердения возможно только при правильном понимании их механизма. Путем направленного изменения структуры, в частности, адсорбционного модифицирования, можно добиться существенного улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик. **Цель работы** – было установление различий в формировании модифицированной структуры гипсовой матрицы при совместном действии микро- и нанодисперсных добавок в присутствии пластификатора, а также их влияния на функциональные и технологические характеристики. Скорость процесса растворения и роста твердой системы зависит от начальной концентрации вещества, удельной поверхности, константы скорости процесса и градиента концентрации раствора на поверхности частиц в объеме вещества. **Методы.** Решение задачи оптимальной модификации требует выявления зависимости между видом, концентрацией, составом, способом введения модифицирующих добавок и получаемыми функциональными характеристиками вяжущего материала. Результаты свидетельствуют о том, что скорость и форма образующихся кристаллов существенно меняются при наличии в растворе пластификатора и ультрадисперсных частиц. **Результаты.** При добавлении в гипсовую систему ультра- и наноразмерных частиц из-за повышенной удельной поверхности последних увеличивается концентрация точечных контактов и изменяется кинетика образования. Возникают контактно-конденсационные связи, образование которых стимулируется наличием в системе наноразмерных частиц, при этом фиксация частиц переходит с дальней коагуляции в ближнюю. Топология структуры, скорость и форма зарождения кристаллов существенно меняются при изменении условий твердения (температура, водотвердое отношение, pH, давление). Взаимосвязь между строением кристаллической решетки сульфата кальция и механизмом роста в присутствии модифицирующих добавок следует из кристаллохимического анализа структуры гипсовых вяжущих. То есть, в зависимости от вида добавки можно интенсифицировать или, наоборот, замедлить скорость роста соответствующих граней кристалла, что приведет к изменению формы кристалла, и соответственно, физико-химических характеристик образованного твердого тела. **Вывод.** Исследования влияния добавок на формирование кристаллов продолжаются, но уже полученные результаты свидетельствуют о том, что скорость и форма образующихся кристаллов существенно меняются при наличии в растворе пластификатора и ультрадисперсных частиц.

**Ключевые слова:** модифицирующие добавки; структура; нанодисперсные добавки; кристаллы; угольные нанотрубки; таврит; пластификатор

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND THE METHOD OF USE OF NANOSYSTEMS IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS, STRUCTURALLY-LOGIC SCHEME OF RESEARCH

DEREVIANKO V.M.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
MOSPAN V.I.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1</sup> 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, tel. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [dereviankoviktor@i.ua](mailto:dereviankoviktor@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-3601-2594

<sup>2\*</sup> 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, tel. +38 (056) 756-33-76, e-mail [yovamospan@i.ua](mailto:yovamospan@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

**Abstract.** The use of modifying additives is an effective means of purposeful influence on the properties of binders. **Introduction (Problem statement).** It is only possible to have a control effect on the hydration and hardening processes with the correct understanding of their mechanism. Due to directional changes in the structure, in particular adsorption modification, it is possible to achieve a significant improvement in physical, mechanical and operational characteristics. **The purpose of the article** is to establish differences in the formation of the modified structure of the gypsum matrix in the joint action of micro- and nano dispersive additives in the presence of a plasticizer, as well as

their impact on the functional and technological characteristics. **Methods.** The solution of the problem of optimal modification requires the identification of the relationship between the type, concentration, composition, method of introduction of modifying additives and the resulting functional characteristics of the binder. **Results.** The results indicate that when ultra - and nano scale particles are added to the gypsum system due to the increased specific surface area of the latter, the concentration of point contacts increases and the kinetics of formation changes. Contact-condensation contacts arise, the formation of which is stimulated by the presence of nano scale particles in the system, while the fixation of the particles passes from the distant coagulation to the near one. That is, depending on the type of additive, it is possible to intensify or, conversely, slow the growth rate of the corresponding crystal faces, which will lead to a change in the shape of the crystal, and accordingly, the physical and chemical characteristics of the solid formed. **Conclusion.** The study of the effect of additives on the formation of crystals continues, but these results indicate that the speed and shape of the crystals formed varies significantly in the presence of a plasticizer in the solution and ultradispersed particles.

**Keywords:** *modifying additives; structure; nano dispersive additives; crystals; carbon nanotubes; plasticizer*

**Постановка проблеми.** Властивості в'язучих речовин та їх розчинів визначаються хімічним, мінералогічним, гранулометричним складом, водо-твердим відношенням, кількістю активних модифікуючих добавок та іншими факторами. Не менш важливу роль відіграють процеси гідратації і тверднення, формування структури на мікро- і макрорівнях у гіпсовій матриці, швидкість зародження, росту і розташування кристалів, характер порового простору [1-3].

Один з ефективних засобів цілеспрямованого впливу на ці процеси – використання модифікуючих добавок. Розв'язання задачі оптимальної модифікації вимагає виявлення залежності між видом, концентрацією, складом, способом уведення модифікуючих добавок і одержуваними функціональними характеристиками в'язучого матеріалу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Велика кількість публікацій присвячена вивченню цих проблем, проте багато аспектів впливу добавок ще не відомі, отримані результати не систематизовані і їх поки що неможливо висловити в аналітичній формі комплексного характеру їх дії.

Структура штучного каменю утворюється під час твердіння в'язучої речовини. Цей процес взаємопов'язаний з процесом гідратації, для нього властива зміна структурних станів, за яких переважають міжчастинні контакти певного типу. Чинити керуючий вплив на процеси гідратації і тверднення можливо лише за умови правильного розуміння їх механізму.

За допомогою спрямованої зміни структури, зокрема, адсорбційного модифікування, можна домогтися істотного поліпшення фізико-механічних і експлуатаційних характеристик [4; 5].

**Мета та завдання.** Численними дослідженнями встановлено, що вплив модифікаторів починається вже на стадії гідратації в'язучого, який, як відомо, включає не тільки їх хімічну взаємодію з водою з утворенням гідратних фаз, а і супутні цьому фізичні, фізико-хімічні, колоїдно-хімічні процеси, що включають розчинення, гідроліз і забезпечують, за дотримання певних умов, схоплювання, твердіння і утворення структури певної міцності і пористості. Для в'язучих систем у процесі гідратації відбувається постійна зміна стану системи, за якого формуються гідратні фази різної будови (призми, пластинки, волокна, голки тощо), які вносять певну неупорядкованість у новосформовану структуру [6-11].

Мета роботи – становлення відмінностей у формуванні модифікованої структури гіпсової матриці за спільної дії мікро- та нанодисперсних добавок за присутності пластифікатора, а також їх впливу на функціональні і технологічні характеристики.

Швидкість процесу розчинення і росту твердої системи залежить від початкової концентрації речовини, питомої поверхні, константи швидкості процесу і градієнта концентрації розчину на поверхні частинок в об'ємі речовини [12].

**Результати досліджень.** Під час додавання в гіпсову систему ультра-нанорозмірних частинок через підвищену

питому поверхню останніх збільшується концентрація точкових контактів і змінюється кінетика утворення. Виникають контактнo-конденсаційні зв'язки, утворення яких стимулюється наявністю в системі нанорозмірних частинок, при цьому фіксація частинок переходить із дальньої коагуляції у ближню. Топологія структури, швидкість і форма зародження кристалів істотно змінюються за зміни умов твердіння (температура, водо-тверде відношення, рН, тиск).



Рис. 1. Топологія структури, швидкість і форма зародження кристалів / Fig. 1. Topology of structure, velocity and form of crystal formation

Взаємозв'язок між будовою кристалічної решітки сульфату кальцію і механізмом росту за присутності модифікуючих добавок впливає з кристалохімічного аналізу структури гіпсових в'язучих [13–17].

- Кристали двоводного гіпсу мають добре розвинені грані (110), (010), (111), але інтенсивність адсорбції з розчину структурних елементів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $[\text{SO}_4]^{2-}$  різна для різних граней, тому морфологія кристалів змінюється залежно від кристалоутвірного середовища (рис. 2).

- Адсорбція модифікаторів можлива:
  - на гранях кристалів, що мають найбільшу поверхневу енергію. Так, наприклад, полімери адсорбуються переважно на гранях  $\{111\}$  і  $\{011\}$ , і тим самим знижують швидкість зародкоутворення;
  - на позитивно або негативно заряджених площинах кристалів (що характерно для ПАР).

Тобто залежно від виду добавки можна інтенсифікувати або, навпаки, уповільнити швидкість росту відповідних граней кристала, що викличе до зміни форми

кристала, і відповідно, фізико-хімічні характеристики утвореного твердого тіла.

Дослідженнями встановлено, що у разі введення лігносульфонатів і гідроксиду кальцію адсорбційне модифікування обмежує ріст кристалів за їх активну межу, збільшує кількість зародків кристалів і зменшує розміри двоугідрату. В умовах лужного середовища посилюються процеси блокування активних граней, тобто розвиток отримує пластинчаста форма кристалів.

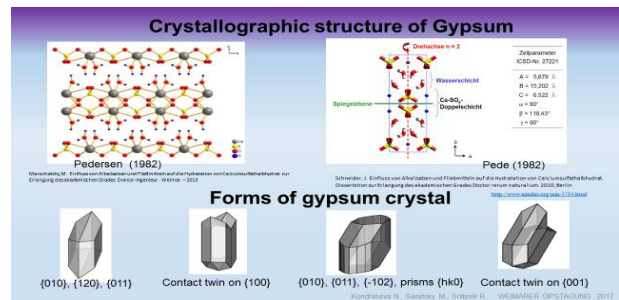


Рис. 2. Зміна морфології кристалів залежно від кристалоутвірного середовища / Fig. 2. The change in the morphology of crystals depending on the crystalline medium

За модифікації вуглецевими нанотрубками останні розташовуються по краях окремих кристалів гідросилікатів кальцію, сприяючи заповненню мікропустот і з'єднанню їх між собою. При цьому ВНТ меншої довжини пов'язують структурні утворення, розташовані одне від одного на відстані не більше одного мікрона, в той час як довгі нанотрубки скріплюють більш віддалені кристали.

Таким чином, дослідження дії адсорбційного модифікування за комплексного впливу мікро- і наномодифікаторів і пластифікатора дозволить установити залежність між спрямованих на ріст кристалів і змін характеристик матриці, тобто спрямовано регулювати властивості гіпсових в'язучих.

Як основне в'язуче використовувався гіпс будівельний Г-4 Ш-ІІ ДСТУ Б В.2.7-82:2010 (м. Кам'янець-Подільськ)

За ультрадисперсну добавку в роботі використовували таурит сланцевий тонкодисперсний ТС-Д (Республіка Казахстан). Насипна щільність 493 г/дм<sup>3</sup>.

Як нанодисперсні добавки застосовували багат шарові вуглецеві нанотрубки (ВНТ), вуглецеві колоїдні частинки (ВКЧ), отримані ультразвуковим диспергуванням коксового пилу у вигляді гідрозолі з концентрацією частинок 0,075 г/л.

Для отримання стійкої водної дисперсії наночастинок і подальшого рівномірного розподілу нанодобавок у гіпсовій матриці використовували суперпластифікатор Sika на основі карбоксилатів.

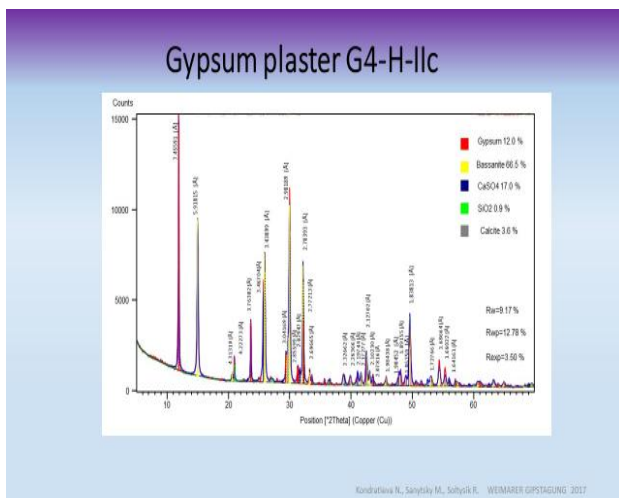


Рис. 3. Рентгенограма формування модифікованої структури гіпсової матриці за спільної дії мікро- та нанодисперсних добавок у присутності пластифікатора, а також їх впливу на функціональні і технологічні характеристики / Fig. 3. Radiography of the formation of a modified structure of gypsum matrix under the joint action of micro- and nanodispersed additives in the presence of plasticizer, as well as their influence on the functional and technological characteristics

Підготовку зразків модифікованого і немодифікованого гіпсу проводили у відповідності з вимогами стандарту ДСТУ Б В.2.7-82:2010. Модифікуючу добавку таурит додавали до гіпсового в'язучого Г4 і ретельно перемішували до однорідного розподілу. Нанодобавки ВНТ і ВКЧ в необхідній кількості разом із суперпластифікаторами додавали у воду замісу і піддавали ультразвуковому диспергуванню протягом 20 хв із частотою 22 кГц.

Для дослідження впливу кристалотвірного середовища на форму

кристалів застосували метод зустрічної дифузії.

У випадку вирощуванні кристалів гіпсу з насичених розчинів  $\text{CaCl}_2$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  без нанодобавок і пластифікатора кристали виростили однорідними, тонкими, голчастими, довжиною до 5 мм.



Рис. 4. Вирощені кристали гіпсу з насичених розчинів  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  без нанодобавок і пластифікатора / Fig. 4. Gypsum crystals grown from saturated solutions of  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  without nanowires and plasticizer

У разі додавання в розчин пластифікатора Sika форма і розміри утворених кристалів були абсолютно іншими, відсутні поодинокі кристали, спостерігався розкид у розмірах: довжина варіювалася від 5 до 15 мм, товщина 1 мм, практично всі кристали були зрощені в дузі, що свідчить про адсорбційному взаємодію пластифікатора з поверхнею кристала під час його росту. У процесі росту було помітно, що кристали мають загальну точку росту.

Додавання 5 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  блокувало ріст кристалів, вони мали товсту аморфоподібну (3...5 мм) основу, на якій розташовувалися тонкі голчасті кристали довжиною 3...4 мм. За зменшення концентрації лугу до 2,5 % товщина основи зменшилася на 2...3 мм, довжина кристалів збільшилася на 5 мм (додати 1 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

За додавання пластифікатора Sika і мікродисперсної добавки таурит (2,5 %) спостерігалось формування трьох типів кристалів: перший тип – тонкі прозорі пластинчасті кристали у вигляді ластівчиного хвоста, характерні для природного гіпсу, другий – довгі деревоподібні кристали з довжиною

основного стовбура 15...17 мм, на якому розміщуються більш короткі кристали (до 5 мм) у вигляді гіллястих відгалужень, третій тип – паличкоподібні кристали довжиною до 5 мм, товщина 1 мм, з невеликими потовщеннями на краях.

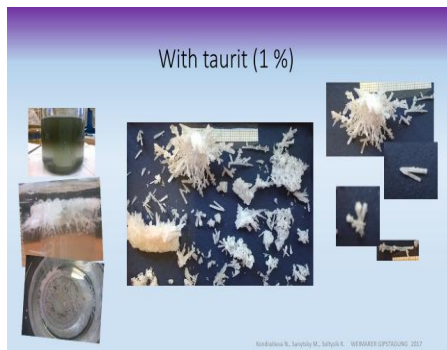


Рис. 5. Вирощені кристали гіпсу за додавання в розчин тауриту / Fig. 5. Cultured gypsum crystals when added to a solution of taurite

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Дослідження впливу добавок на формування кристалів тривають, але вже ці отримані результати свідчать, що швидкість і форма утворюваних кристалів істотно змінюється за наявності в розчині пластифікатора й ультрадисперсних частинок.

Дослідження спільного впливу частинок різної дисперсності (мікро- і нанорозмірів) на формування структури і функціональні характеристики проводили з використанням комплексних добавок 2 типів: 1) тауриту і колоїдних наночастинок (Г+Т+ВКЧ) і 2) тауриту і вуглецевих нанотрбок (Г+Т+ВНТ). Під час дослідження всіх зразків у воду замісу додавали суперпластифікатор Sika в кількості 0,25 % (рис. 5).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aranda B. Effect of multiphase structure of binder particles on the mechanical properties of a gypsum-based material / B. Aranda, O. Guillou, C. Lanos, C. Daiguebonne, S. Freslon, C. Tessier, M. Laurans, C. Baux // Construction and Building Materials. – Vol. 102. – 2016. – Pp. 175–181.
2. Gordina A. F. Calcium sulfate-based compositions modified with superdispersed additives / A. F. Gordina, Yu. V. Tokarev, G. N. Pervushin, A. F. Buryanov // Internationale Baustofftagung. – № 18. – Weimar, 2012. – Pp. 0733–0740.
3. Badens E. Crystallization of gypsum from hemihydrate in presence of additives / E. Badens, S. Veessler, R. Boistelle // Journal of Crystal Growth. – № 198/199. – 1999. – Pp. 704–709.
4. Pundir Aakanksha. Evaluation of properties of gypsum plaster – superplasticizer blends of improved performance / Aakanksha Pundir, Mridul Garg // Randhir Singh Journal of Building Engineering. – № 4. – 2015. – Pp. 223–230.
5. Garg Mridul. Modifications in water resistance and engineering properties of b-calcium sulphate hemihydrate plaster-superplasticizerblends / Mridul Garg, Aakanksha Pundir, Randhir Singh // Materials and Structures. – 2016. – № 49. – Pp. 3253–3263.
6. Aranda B. Effect of multiphase structure of binder particles on the mechanical properties of a gypsum-based material / B. Aranda, O. Guillou, C. Lanos, C. Daiguebonne, S. Freslon, C. Tessier, M. Laurans, C. Baux // Construction and Building Materials. – № 102. – 2016. – Pp. 175–181.
7. Lorencik S. Applications of nano-ingredients in building materials / S. Lorencik, G. Quercia, A. Lazaro, Q. Yu, H. J. Brouwers // Ibausil 19. – Band 1. – 2015. – Pp. 265–280.
8. Bekmansurov M. R. Gips verbund werk stoffe, modifiziert mit technogen ultradisperszusatzmitteln / M. R. Bekmansurov, A. F. Gordina, I. S. Poljanskich, G. I. Jakovlev, H.-B. Fischer // Internationale Baustofftagung. – Weimar Bundesrepublik Deutschland. – Weimar : F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, 2015. – Band 2. – Pp. 645–652.
9. Zhang Xiaofei. Phase- and morphology-controlled crystallization of gypsum by using flue-gas-desulfurization gypsum solid waste / Xiaofei Zhang, Jinshu Wang, Junshu Wu, Xin-Jian Jia, Yucheng Du, Hongyi Li, Bingxin Zhao // Journal of Alloys and Compounds. – Vol. 674. – 2016. – Pp. 200–206.
10. Song K. M. Simultaneous monitoring of hydration kinetics, microstructural evolution, and surface interactions in hydrating gypsum plaster in the presence of additives / K. M. Song, J. Mitchell, H. Jaffel, L. F. Gladden // Journal of Material Science. – 2010. – № 45. – Pp. 5282–5290.
11. Adrien J. In-situ X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting / J. Adrien, S. Meille, S. Tadier, E. Maire, L. Sasaki // Cement and Concrete Research. – № 82. – 2016. – Pp. 107–116.
12. Nilles V. Study of the retarding mechanism of linear sodium polyphosphates on  $\alpha$ -calcium sulfate hemihydrate / V. Nilles, J. Plank // Cement and Concrete Research. – № 42. – 2012. – Pp. 736–744.

13. Buryanov A. Modification of the structure and properties of gypsum materials carbon nanostructures / A. Buryanov, G. Yakovlev // Nanotechnology for green and sustainable construction : Proceedings of the II International Conference. – Cairo, Egypt, 2010. – Pp. 123–129.

## REFERENCES

1. Aranda B., Guillou O., Lanos C., Daigebonne C., Freslon S., Tessier C., Laurans M. and Baux C. Effect of multiphasic structure of binder particles on the mechanical properties of a gypsum-based material. *Construction and Building Materials*, no. 102, 2016, pp. 175–181.
2. Gordina A.F., Tokarev Yu.V., Pervushin G.N. and Buryanov A.F. Calcium sulfate-based compositions modified with superdispersed additives. *Internationale Baustofftagung*, no. 18, Weimar, 2012, pp. 0733–0740.
3. Badens E., Veessler S. and Boistelle R. Crystallization of gypsum from hemihydrate in presence of additives. *Journal of Crystal Growth*, no. 198/199, 1999, pp. 704–709.
4. Pundir Aakanksha and Garg Mridul. Evaluation of properties of gypsum plaster-superplasticizer blends of improved performance. *Randhir Singh Journal of Building Engineering*, no. 4, 2015, pp. 223–230.
5. Garg Mridul and Pundir Aakanksha. Randhir Singh Modifications in water resistance and engineering properties of  $\beta$ -calcium sulphate hemihydrate plaster-superplasticizer blends. *Materials and Structures*, 2016, no. 49, pp. 3253–3263.
6. Aranda B., Guillou O., Lanos C., Daigebonne C., Freslon S., Tessier C., Laurans M. and Baux C. Effect of multiphasic structure of binder particles on the mechanical properties of a gypsum-based material. *Construction and Building Materials*, no. 102, 2016, pp. 175–181.
7. Lorencik S., Quercia G., Lazaro A., Yu Q. and Brouwers H.J. Applications of nano-ingredients in building materials. *Ibausil 19*, Band 1, 2015, pp. 265–280.
8. Bekmansurov M.R., Gordina A.F., Poljanskich I.S., Jakovlev G.I. and Fischer H.-B. Gips verbund werk stoffe, modifiziert mit technogen ultradisperszusatzmitteln. *Internationale Baustofftagung*, 16-18 September, 2015 Weimar Bundesrepublik Deutschland. Weimar: F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar 2015, Band 2, pp. 645-652.
9. Zhang Xiaofei, Wang Jinshu, Wu Junshu, Jia Xin-Jian, Du Yucheng, Li Hongyi and Zhao Bingxin. Phase- and morphology-controlled crystallization of gypsum by using flue-gas-desulfurization gypsum solid waste. *Journal of Alloys and Compounds*, no. 674, 2016, pp. 200-206.
10. Song K.M., Mitchell J., Jaffel H. and Gladden L.F. Simultaneous monitoring of hydration kinetics, microstructural evolution, and surface interactions in hydrating gypsum plaster in the presence of additives. *Journal of Material Science*, 2010, no. 45, pp. 5282–5290.
11. Adrien J., Meille S., Tadier S., Maire E. and Sasaki L., In-situ X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. *Cement and Concrete Research*, no. 82, 2016, pp. 107–116.
12. Nilles V. and Plank J. Study of the retarding mechanism of linear sodium polyphosphates on  $\alpha$ -calcium sulfate hemihydrate. *Cement and Concrete Research*, no. 42, 2012, pp. 736–744.
13. Buryanov A. and Yakovlev G. Modification of the structure and properties of gypsum materials carbon nanostructures. *Proceedings of the II International Conference “Nanotechnology for green and sustainable construction”*, Cairo, Egypt, 2010, pp. 123–129.

Надійшла до редакції 25.07.2019 р.

УДК 728.536:625.712.14

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.24.507

## ЗВЕДЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ЗА КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНОЮ СИП-ТЕХНОЛОГІЄЮ

ДЬЯЧЕНКО Л. Ю.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.,

ДЬЯЧЕНКО О. С.<sup>2\*</sup>, ас.

<sup>1</sup> Кафедра планування та організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-65, e-mail: [olya\\_d1@ukr.net](mailto:olya_d1@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

<sup>2\*</sup> Кафедра архітектури, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-32, e-mail: [arh\\_dyachenko@ukr.net](mailto:arh_dyachenko@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2591-3274

**Анотація. Постановка проблеми.** Будівництво малоповерхових споруд в Україні із застосуванням СИП-технологій дозволяє знизити тривалість зведення будівель, зробити їх екологічними, міцними і надійними, а також зменшити їх вартість. У зв'язку з цим в Україні актуальними постають енергоефективні малоповерхові будівлі швидкого зведення за каркасно-панельною СИП-технологією. В основі СИП-технології лежить використання теплоізоляційних панелей – структурних ізоляційних панелей (СИП), які служать основними конструкційними елементами об'єкта будівництва. Наразі кількість будинків, зведених за цією технологією, тільки в Північній Америці вже становить близько 80 %, в сейсмоактивній Японії – до 45 %, Фінляндії – 42 %. Перевага такого будівництва у тому, що помешкання можна звести за кілька місяців, а фінальна вартість становить 200...250 дол. за 1 м<sup>2</sup>, а з оздобленням – 450...500 дол. за 1 м<sup>2</sup>. **Мета статті** – аналіз особливостей будівництва енергоефективних будівель швидкого зведення із СИП з метою його розвитку в Україні. **Висновок.** Досліджено закордонний та вітчизняний досвід застосування – СИП-технології; проаналізовано різні конструктивні рішення, що надають можливість використання СИП повної заводської готовності; проаналізовано характеристики енергоефективної малоповерхової будівлі швидкого зведення із СИП. Такі будинки мають високу сейсмостійкість. Вони витримують землетруси понад 8...9 балів. СИП-технологія втілює передові досягнення в галузі житлового будівництва і являє собою найбільш швидко впроваджувану технологію будівництва в світі.

**Ключові слова:** будівництво; енергоефективна малоповерхова будівля; будівлі швидкого зведення; СИП

## ВОЗВЕДЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПО КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНОЙ СИП-ТЕХНОЛОГИИ

ДЬЯЧЕНКО Л. Ю.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.,

ДЬЯЧЕНКО О. С.<sup>2\*</sup>, асс.

<sup>1</sup> Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-65, e-mail: [olya\\_d1@ukr.net](mailto:olya_d1@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

<sup>2\*</sup> Кафедра архитектуры, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-32, e-mail: [arh\\_dyachenko@ukr.net](mailto:arh_dyachenko@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2591-3274

**Аннотация. Постановка проблемы.** Строительство малоэтажных зданий в Украине с применением СИП-технологий позволяет сократить продолжительность возведения зданий, сделать их экологичными, прочными и надежными, а также снизить их стоимость. В связи с этим в Украине актуальны энергоэффективные малоэтажные быстровозводимые здания по каркасно-панельной СИП-технологии. В основе СИП-технологии лежит использование теплоизоляционных панелей – структурных изоляционных панелей (СИП), которые служат в качестве основных конструкционных элементов объекта строительства. На сегодняшний день количество построенных домов по этой технологии только в Северной Америке уже составляет около 80 %, в сейсмоактивной Японии – до 45 %, Финляндии – 42 %. Преимущество такого строительства в том, что помещение можно возвести за несколько месяцев, а финальная стоимость составляет 200...250 долл. за 1 м<sup>2</sup>, с отделкой – 450...500 долл. за 1 м<sup>2</sup>. **Целью статьи** является анализ особенностей строительства энергоэффективных быстровозводимых зданий из СИП с целью развития строительства этих зданий в Украине. **Вывод.** Исследован зарубежный и отечественный опыт применения каркасно-панельной – СИП-технологии; проанализированы различные конструктивные решения, предоставляющие возможность использования СИП полной заводской готовности; проанализированы характеристики малоэтажного энергоэффективного быстровозводимого здания из СИП. Здания, построенные с применением СИП, имеют высокую

сейсмостійкість. Вони видерживають землетрясіння більше 8...9 баллів. СИП-технологія втілює передові досягнення в області жилищного будівництва і є найбільш швидко впроваджуваною технологією будівництва в світі.

**Ключевые слова:** *строительство; энергоэффективное малоэтажное здание; быстровозводимые здания; СИП*

## CONSTRUCTION OF ENERGY-EFFICIENT LOW-RISE BUILDINGS BY FRAME-PANEL SIP TECHNOLOGY

DIACHENKO L.Yu.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
DIACHENKO O.S.<sup>2\*</sup>, *Ass.*

<sup>1</sup> Department of Planning and Organization of Production, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-65, e-mail: [olya\\_d1@ukr.net](mailto:olya_d1@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

<sup>2\*</sup> Department of Architecture, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine tel. +38 (056) 756-33-32, e-mail: [arh\\_dyachenko@ukr.net](mailto:arh_dyachenko@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2591-3274

**Abstract. Problem statement.** The construction of low-rise buildings in Ukraine using SIP technologies allows to reduce the duration of the construction of buildings, make them environmentally friendly, durable and reliable, as well as reduce their cost. In this regard, energy efficient low-rise buildings of rapid erection using frame-panel technology – SIP technology are relevant in Ukraine. The base of SIP technologies is the use of thermal insulation panels – structural insulated panels (SIP panels) which serve as the main structural elements of the construction object. At present, the number of houses built using this technology in North America is already around 80 %, in seismic Japan – up to 45 %, in Finland – 42 %. The advantage of such construction is that the dwelling can be built in a few months and the final cost is \$ 200...\$ 250 per square meter, and with decoration – \$ 450...\$ 500 per square meter. **The purpose of the article** is to analyze construction of energy efficient prefabricated buildings of SIP panels, aimed to construct such structures in Ukraine. **Conclusion.** We researched foreign and domestic experience of using frame-panel technology – SIP-technology; analyzed various structural solutions, providing the possibility of using SIP panels of complete prefabrication; the characteristics of energy-efficient low-rise prefabricated buildings from SIP panels are analyzed. Buildings built with SIP panels, have high seismic resistance. They can withstand earthquakes of more than 8...9 points. SIP technology embodies the advanced achievements in the field of housing construction and is the most rapidly implemented construction technology in the world.

**Keywords:** *construction; energy-efficient low-rise building; prefabricated buildings; SIP panels*

**Постановка проблеми.** Будівництво малоповерхових будівель в Україні із застосуванням СИП-технологій дозволяє знизити тривалість зведення будівель, зробити їх екологічними, міцними і надійними, а також знизити їх вартість.

У зв'язку з цим в Україні актуальні енергоефективні малоповерхові будівлі швидкого зведення за каркасно-панельною СИП-технологією [3].

На сьогоднішній день кількість споруджених будинків за цією технологією тільки в Північній Америці вже становить близько 80 %, у сейсмоактивній Японії – до 45 %, Фінляндії – 42 %.

Перевага такого будівництва у тому, що помешкання можна звести за кілька місяців, а фінальна вартість становить 200...250 дол. за 1 м<sup>2</sup>, а з оздобленням – 450...500 дол. за 1 м<sup>2</sup>.

СИП-технологія втілює передові досягнення в галузі житлового будівництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** СИП-технологія – унікальна каркасно-панельна технологія будівництва, що дозволяє зводити будівлі швидкого с, яка з'явилася понад півстоліття тому і набула популярності в країнах Північної і Південної Америки. Будинки споруджені за СИП-технологією, користуються популярністю як у тропіках, так і в Заполяр'ї.

У Канаді та США більшість індивідуальних будинків побудовані саме на базі каркасно-панельної технології, вже сьогодні вона стала популярною і в інших країнах, таких як Японія, Англія, Німеччина, Україна та інші.

Монтаж будинку за СИП-технологією здійснюється бригадою в 3–4 чоловік, без особливої спецтехніки. Стіни, виготовлені в заводських умовах, забезпечують чудову



тепло- і шумоізоляцію, підвищену довговічність і надійність усіх елементів конструкції. Каркасно-панельні будинки за показниками екологічності стали лідерами серед усіх наявних. Попередня заводська підготовка «сандвіч»-панелей та обробка всіх використовуваних матеріалів дозволяє одночасно виконувати монтаж і оздоблювальні роботи в будь-який час року.

**Мета статті** – аналіз особливостей будівництва швидкого зведення енергоефективних будівель із СПІ з метою розвитку такого будівництва в Україні.

**Виклад матеріалу.** *СПІ-технологія* – каркасно-панельна технологія малоповерхового будівництва з понад 50-річною історією. Вона втілює передові досягнення в галузі житлового будівництва і бачиться найбільш швидко впроваджуваною технологією будівництва у світі.

В основі СПІ-технології лежить використання теплоізоляційних панелей – СПІ, які служать основними конструкційними елементами об'єкта будівництва (рис. 1).



Рис. 1. Структурна ізоляційна панель (СПІ) /  
Fig. 1. Structural insulation panel (SIP)

Структурна ізоляційна панель (СПІ) являє собою тришарову конструкцію, яка складається з двох шарів вологостійкої орієнтованої стружкової плити (ОСП-3) та шару пінополістиролу ПСБ-С-25.

Цифра 25 показує кількість сухої речовини 1 м<sup>3</sup> готового матеріалу. Чим більше сухої речовини, тим вища щільність, а значить надійність і довговічність готової СПІ. В Україні для виробництва панелей застосовують пінополістирол з вмістом сухої речовини на рівні 17...19 кг/м<sup>3</sup>. Ця

величина допустима і достатня, щоб пінополістиролу була присвоєна марка ПСБ-С-25 ГОСТ.

Орієнтована стружкова плита (ОСП-3) складається з декількох шарів деревної стружки, склеєної за допомогою різноманітних смол.

Для виробництва сертифікованих СПІ застосовують тільки ОСП-3 плити з товщиною 10 і 12 мм. Для укладання чорнової підлоги другого поверху застосовують плити товщиною 22 мм.

*Пінополістирол* являє собою газонаповнений матеріал, що отримується з полістиролу і його похідних, а також із співполімерів стиролу. Звичайна технологія отримання пінополістиролу пов'язана з початковим заповненням гранул стиролу газом, який розчиняють у полімерній масі.

Використовується пінополістирол високої щільності, який забезпечує чудову термоізоляцію.

*Екструдований (або екструзійний) пінополістирол* – нове слово у сфері теплоізоляційних технологій. Це матеріал із рівномірною структурою, що складається з повністю закритих дрібних (0,1...0,2 мм) осередків.

*Поліуретановий клей.* Високоякісний клей під великим тиском надійно і назавжди з'єднує ОСП-3 з пінополістиролом, утворюючи СПІ.

*Внутрішнє і зовнішнє оздоблення.* Варіантів зовнішнього оздоблення безліч. Власне оздоблювальні матеріали нічим не відрізняються від традиційних стін з бетону або цегли. Будинок із СПІ можна обкласти декоративною плиткою або каменем, облицювати сайдингом, оштукатурити або обкласти цеглою. СПІ-технологія не передбачає обмежень з оздоблювальних матеріалів. З внутрішнім оздобленням те ж саме: воно являє собою рівну вертикальну поверхню, що дозволяє відразу наклеїти шпалери або обшити гіпсокартоном без застосування профілю (рис. 2).



Рис. 2. Енергоефективний будинок із СІП-панелей /  
Fig. 2. Energy efficient home made of SIP panels

**Розміри плити і маса.** СІП структурна ізоляція – панель має максимальну висоту 3 500 мм. Ширина панелі – від 625 мм до 1 500 мм. Товщина – 60...220 мм [1].

Маса панелі розмірами 2 500×1 250×174 мм буде важити близько 50 кг. Для порівняння, СІП для будинку площею 190 м<sup>2</sup> будуть важити 16 т, а будинок із цегли – 64 т [4].

Для виробництва СІП найчастіше застосовують плити німецького виробника EGGER. Вони добре зарекомендували себе на ринку України, а за точні геометричні розміри полюбився виробникам. СІП вироблені з використанням плит EGGER, не вимагають додаткового торцювання на виробництві перед розкроєм. Вони абсолютно не мають неприємного запаху. Ці панелі мають український сертифікат якості.

Для виробництва СІП використовують два типорозміри плит ОСП-3 – це 2 500 × 1 250 і 2 800 × 1 250 [7]. Завдяки нестандартним розмірам – 2 800 × 1 250 можна виробляти СІП, які забезпечують достатню висоту першого поверху каркасно-панельного будинку – 2,8 м (рис. 3).

Випробування таких панелей показало, що вони можуть витримувати поздовжнє навантаження до 10 т/м.

Поперечне навантаження (вертикальне) на СІП показує здатність стін із них протистояти потужності вітру, сніговим навантаженням на дах і покриття.

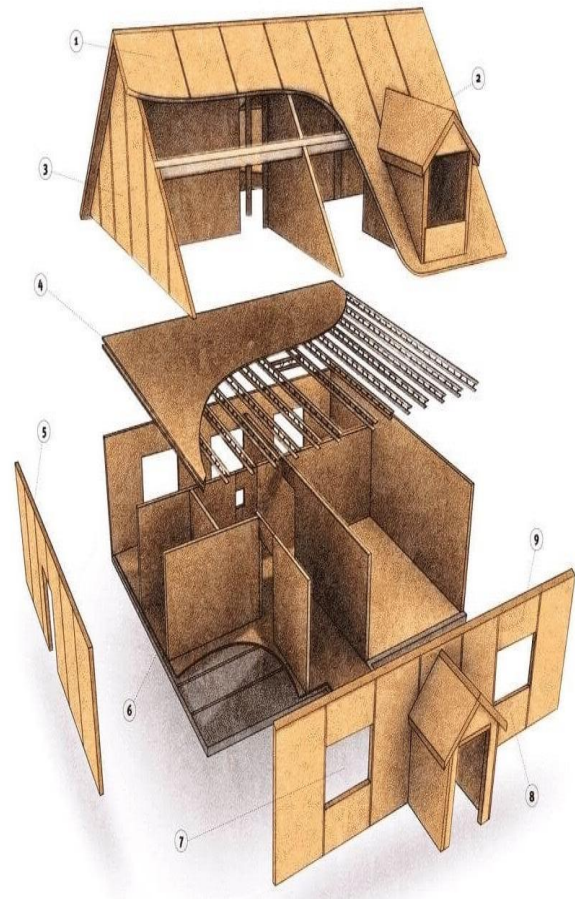


Рис. 3. Схема будинку, зведеного за СІП-технологією: 1 – панелі даху; 2 – панелі портиків, еркерів та щипців; 3 – панелі фронтону; 4 – балки, ферми чи панелі перекриття; 5 – панелі стінові; 6 – панелі внутрішніх стін; 7 – віконні прорізи; 8 – підвіконні панелі; 9 – панелі перемичок / Fig. 3. The scheme of the house erected on the frame-panel SIP-technology: 1 – roof panels; 2 – panels of porticos, bay windows and tongs; 3 – panels of the pediment; 4 – beams, trusses or overlapping panels; 5 – wall panels; 6 – panels of internal walls; 7 – window openings; 8 – window sills; 9 – jumper panels

**Вогнестійкість.** Плити ОСП, які входять до складу СІП, проходять спеціальну обробку антипіреном. Завдяки цьому вони набувають властивості самозагасання. Порівняно з деревиною, вогнестійкість СІП у 7 разів вища. Будівлі з таких панелей мають високу сейсмостійкість. Вони витримують землетруси понад 8–9 балів. Такі конструктивні рішення набули широкого використання в Криму, Японії.

### Основні переваги будівель із СІП [1; 2; 4-6; 8]

- *Енергоефективність.* Основну складову СІП становить енергоефективний утеплювач, який має низький коефіцієнт теплопровідності, це дає можливість зменшити товщину стіни, порівняно з цегляною, що дозволяє економити кошти на опаленні будівлі.
- *Надійність.* Завдяки тому, що СІП з'єднуються між собою за принципом паз в паз, конструкція може витримувати землетруси до 9 балів.
- *Економічність.* Плити мають малу вагу, тож конструкція готової будівлі виходить в кілька разів легшою за цегляну або кам'яну, що дозволяє заощадити на будівництві фундаменту.
- *Низька вартість* будівлі за СІП-технологією. Скорочення термінів зведення будівлі з таких панелей а також низька вартість будівельних матеріалів дозволяє зробити будинки із СІП дешевшими навіть за квартири в багатоповерхових будинках.

- *Усадка будинку* з панелей відсутня, що дає можливість відразу починати оздоблювальні роботи.

- *Екологічність.* ОСП плита – 97 % дерево, утеплювач – 98 % повітря.

- *Довговічність.* Експлуатація будівлі – до 100 років.

- *Швидкі терміни* будівництва. Особливість СІП-технології полягає у швидкості роботи: фахівці зводять будинки під ключ за 3 місяці. Залишається зовсім небагато – оздоблювальні роботи та створення затишку в новому будинку.

**Висновки** Досліджено закордонний та вітчизняний досвід застосування каркасно-панельної СІП-технології; проаналізовано різні конструктивні рішення, що дають можливість використання панелей повної заводської готовності; проаналізовано характеристики енергоефективної малоповерхової будівлі швидкого зведення із структурно ізоляційних панелей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дорошенко Д. Каркасный дом по канадской технологии : монография / [Денис Дорошенко] – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 208 с.
2. Національний стандарт України. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель : ДСТУ Б В.2.6-189:2013. – [Чинний від 2014-01-01] / Мінрегіон України. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2014. – 52 с.
3. Дьяченко Л. Ю. Особенности зведения швидкоспоруджуваних малоповерхових будівель із блок-модулів в Україні / Л. Ю. Дьяченко, О. С. Дьяченко, А. С. Малащенко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць. – 2016. – № 2. – С. 69–74.
4. Передовая технология каркасно-панельного домостроения СИП (SIP) : учеб. пособ. для вузов / Под ред. Цыгаменко С. С. и др., 6-е изд. – Москва : Ассоциация домостроительных технологий СИП (SIP), 2016. – 239 с.
5. Строительство каркасного дома : монография / [В. С. Самойлов, В. С. Левадный]. – Москва : Аделант, 2009. – 352 с.
6. Державні будівельні норми України. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2016. [Чинні від 2017-05-01] / Мінрегіон України. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2017. – 31 с.
7. Панельная строительная система СИП : монография / [В. В. Цыгаменко, С. С. Цыгаменко]. – Москва, 2015. – 78 с.
8. Knaack U. Prefabricated systems : principles of construction / [U. Knaack, Sh. Chung-Klatte, R. Hasselbach]. – Berlin : Walter De Gruyter, 2012. – 133 p.

### REFERENCES

1. Doroshenko D. *Karkasnyy dom po kanadskoy tehnologii* [Frame house using Canadian technology]. Saint-Petersburg : Piter, 2011, 208 p. (in Russian).
2. *Natsional'nyj standart Ukrainy. Metody vyboru teploizolyacijnogo materialu dlya uteplennya budivel' : DSTU B V.2.6-189:2013. (Chy`nnyj vid 2014-01-01)* [National Standard of Ukraine. Methods of choosing thermal insulation material for insulation of buildings: SBTU B V.2.6-189: 2013. (Effective from 2014-01-01)]. Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv : State Enterprise “Ukrhbuildinform”, 2014, 52 p. (in Ukrainian).

3. D'yachenko L.Yu., D'yachenko O.S. and Malashenko A.S. *Osobly`vosti zvedennya shvy`dkosporudzhuvani`x malopoverxovy`x budivel` iz blok-moduliv v Ukraini* [Features of erecting low-rise buildings from block modules in Ukraine]. *Visny`k Pry`dniprov`s'koyi derzhavnoyi akademiyi budivny`cztva ta arxitektury`* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2016, no. 2, pp. 69–74. (in Ukrainian).
4. *Peredovaya tehnologiya karkasno-panel'nogo domostroeniya SIP (SIP) : uchebnoe posobie dlya vuzov* [Advanced technology of frame-panel housing construction SIP (SIP): textbook for universities]. Edited by Tsyhamenko S.S. and an.]. Moscow : Homebuilding Technology Association SIP, 2016, 239 p. (in Russian).
5. Samoylov V.S. and Levadnyy V.S. *Stroitelstvo karkasnogo doma* [Construction of a frame house]. Moscow : Adelant, 2009, 352 p. (in Russian).
6. *Derzhavni budivel`ni normy` Ukrainy`. Teplova izolyaciya budivel` : DBN V.2.6-31:2016. (Chy`nni vid 2017–05–01)* [National Standard of Ukraine. Thermal insulation of buildings: DBN B.2.6-31: 2016. (Effective from 2017-05-01)]. Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv : State Enterprise “Ukrbudinform”, 2017, 31 p. (in Ukrainian).
7. Tsyhamenko V.V. and Tsyhamenko S. *Panel'naya stroitel'naya sistema SIP* [SIP panel building system]. Moscow, 2015, 78 p. (in Russian).
8. Knaack U., Chung-Klatte Sh. and Hasselbach R. *Prefabricated systems : principles of construction*. Berlin : Walter De Gruyter, 2012, 133 p.

Надійшла до редколегії: 02.06.2019 р.

УДК 697:519.81

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.30.508

## ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ПОШУК ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАДАЧАХ СОНЯЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ

ПРОДОВ В. Ф.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., проф.*,

ТКАЧОВА В. В.<sup>2</sup>, *к. т. н., доц.*,

ЧОРНОМОРЕЦЬ Г. Я.<sup>3</sup>, *к. т. н., доц.*

<sup>1\*</sup> Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: [irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua](mailto:irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

<sup>2</sup> Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: [tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua](mailto:tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

<sup>3</sup> Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: [chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua](mailto:chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

**Анотація. Постановка проблеми.** У цій статті під терміном «сонячна архітектура» розуміється архітектурний підхід до виконання комплексних завдань, пов'язаних із поновлюваною сонячною енергією. При цьому повинні використовуватися результати, які стосуються термодинаміки, теплопередачі, будівництва, електроніки, матеріалознавства, енергозбереження. Вона повинні сприяти прийняттю спільних рішень, які виходять за рамки зазначених наукових дисциплін. Проблема полягає у визначенні прийняття спільних рішень у задачах сонячної енергетики. **Аналіз останніх досліджень.** Наукові результати останніх років у цій галузі обмежувалися розв'язанням задач аналізу, а задачі синтезу не розглядалися, оскільки не було запропоновано загальних механізмів у прийнятті рішень. Значна роль у розв'язанні задач сонячної архітектури, безумовно, відводиться прийняттю рішень. Методом розв'язання системних задач у сфері сонячної архітектури можуть слугувати алгоритми еволюційного пошуку рішень. **Мета.** Дослідження – розроблення загального підходу до розв'язання задач синтезу сонячної архітектури. Розроблений підхід повинен забезпечити розрахунок задач складної природи у сфері сонячної архітектури. Задачу складає розроблення схем алгоритму еволюційного пошуку, що застосовуються для розв'язання задач у прийнятті рішень сонячної архітектури. **Висновки.** Запропоновано конкретні схеми еволюційних алгоритмів, які можна застосувати для вирішення поставлених завдань. На заключному етапі прийняття рішень з різноманітними характеристиками запропоновано застосовувати алгоритм еволюційного пошуку. Викладено дві схеми алгоритму пошуку рішень: схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді переваги; схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді блокування.

**Ключові слова:** еволюційний пошук; прийняття рішень; алгоритм розрахунку; сонячна архітектура; енергозбереження; енергоефективність

## ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОИСК ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СОЛНЕЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

ПРОДОВ В. Ф.<sup>1\*</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ТКАЧЕВА В. В.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

ЧЕРНОМОРЕЦ Г. Я.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1\*</sup> Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: [irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua](mailto:irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

<sup>2</sup> Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: [tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua](mailto:tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

<sup>3</sup> Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: [chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua](mailto:chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

**Аннотация. Постановка проблемы.** В данной статье под термином «солнечная архитектура» понимается архитектурный подход к решению комплексных задач, связанных с возобновляемой солнечной энергией. При этом должны использоваться результаты, которые относятся к термодинамике, теплопередаче, строительству, электронике, материаловедению, энергосбережению. Они должны приводить к принятию общих решений,

которые выходят за рамки указанных научных дисциплин. Проблема состоит в определении принятия общих решений в задачах солнечной энергетики. **Анализ последних исследований.** Научные результаты последних лет в данной области ограничивались решением задач анализа, а задачи синтеза не рассматривались, поскольку не было предложено общих механизмов в принятии решений. Значительная роль в решении задач солнечной архитектуры, безусловно, отводится принятию решений. Методом решения системных задач в области солнечной архитектуры могут служить алгоритмы эволюционного поиска решений. **Целью** данного исследования является разработка общего подхода к решению задач синтеза солнечной архитектуры. Разработанный подход должен обеспечить расчет задач сложной природы в сфере солнечной архитектуры. Задачей является разработка схем алгоритма эволюционного поиска, применяемых для решения задач в принятии решений солнечной архитектуры. **Выводы.** Предложены конкретные схемы эволюционных алгоритмов, которые можно применить для решения поставленных задач. На заключительном этапе принятия решений с различными характеристиками предложено применять алгоритм эволюционного поиска решений. Изложены две схемы алгоритма поиска решений: схема алгоритма эволюционного поиска с функцией выбора в виде предпочтения; схема алгоритма эволюционного поиска с функцией выбора в виде блокировки.

**Ключевые слова:** эволюционный поиск; принятие решений; алгоритм расчета; солнечная архитектура; энергосбережение; энергоэффективность

## EVOLUTIONARY SEARCH FOR DECISION MAKING IN SOLAR ARCHITECTURE PROBLEMS

IRODOV V.F.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
TKACHOVA V.V.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
CHORNOMORETS H.Ya.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-06, e-mail: [irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua](mailto:irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

<sup>2</sup> Department of Systems Analysis and Modeling Heat and Gas Supply, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-49, e-mail: [tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua](mailto:tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

<sup>3</sup> Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-49, e-mail: [chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua](mailto:chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

**Abstract. Problems formulation.** In this article, the term "solar architecture" refers to the architectural approach to solve complex problems related to renewable solar energy. In this case, such results that relate to thermodynamics, heat transfer, construction, electronics, materials science, energy saving should be used. These results should lead to the common decision making that goes beyond these scientific disciplines. The problem is to determine the common decisions in the problems of solar energy. **Recently research analysis.** The scientific results of recent years in this area were limited to solve analysis problems, and synthesis problems were not considered, since no general mechanisms for making decisions were proposed. A significant role in solving the problems of solar architecture, of course, is given to decision making. Algorithms for evolutionary search for solutions can serve as a method for solving systemic problems in the field of solar architecture. **Purpose and tasks.** The purpose of this study is to develop a general approach to solve the problems of synthesis of solar architecture. The developed approach should provide the calculation of tasks of complex nature in the field of solar architecture. The task is to develop evolutionary search algorithm schemes that are used to solve solar architecture decision-making problems. **Conclusions.** Specific schemes of evolutionary algorithms that can be applied to solve the tasks are proposed. At the final stage of decision-making with different characteristics, it is proposed to apply the algorithm of evolutionary search for decisions. Two schemes of algorithm of search of the decision are presented: scheme of algorithm of evolutionary search with function of choice in the form of advantage; diagram of an evolutionary search algorithm with a block selection function.

**Keywords:** evolutionary search; decision making; calculation algorithm; solar architecture; energy saving; energy efficiency

**Постановка проблеми.** Наразі до поняття сонячної архітектури відносять архітектурний підхід до зведення різноманітних будівель, які використовують чисту і поновлювану сонячну енергію. При цьому застосовується цілий комплекс наукових знань: термодинаміка,

теплопередача, будівництво, електроніка, матеріалознавство, енергосбереження.

Для такої архітектури характерна специфіка як пасивного сонячного будівельного дизайну, так і активного.

Значна роль у розв'язанні задач сонячної архітектури, безумовно, відводиться

прийняттю рішень. Науковою основою для прийняття подібних складних рішень можуть бути методи системного аналізу [1; 6; 9; 10]. Ця стаття описує один із напрямків розв'язання задач складної природи, який може бути застосований для сонячної архітектури – еволюційний пошук рішень.

**Аналіз публікацій.** При всьому різноманітті наукових та практичних робіт [4; 5] маловивченим залишається питання прийняття рішень у задачах сонячної архітектури.

Методом розв'язання системних задач у галузі сонячної архітектури можуть слугувати алгоритми еволюційного пошуку рішень [2; 3; 7; 8; 11].

**Мета статті** – розробити алгоритм еволюційного пошуку для розв'язання задач сонячної архітектури. Алгоритм повинен забезпечити розрахунок задач складної природи у сфері сонячної архітектури.

**Виклад основного матеріалу.** Для розв'язання задач сонячної архітектури використовується алгоритм еволюційного пошуку найбільш переважних рішень, принципова схема якого наведена на рисунку 1.

Необхідно знайти  $x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$  на множині  $x \in \Omega$ . Будь-які два елемента знаходяться у бінарному відношенні  $xR_S y, \forall y \in \Omega$ . Пошук оптимального рішення має вигляд (1) – (8):

$$X_{j_k} = S(G(X_{j_{k-1}})), k=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, N_G, (1)$$

де  $X_{j_k}$  – множина найбільш переважних рішень по відношенню вибору  $R_S$   $k$ -го кроку ітерації для  $j$ -ї гілки еволюційного процесу;

$X_{j_{k-1}}$  – те ж саме для  $(k-1)$ -го кроку ітерації;

$G(X)$  – функція генерації, яка породжена відношенням генерації  $R_G$ :

$$G(X) = X \cup G_n(X), (2)$$

$$G_n(X) = \{y \in \Omega / \exists x \in X, yR_G x, \mu_{R_G}(y, x) > 0\} (3)$$

де:  $R_G$  – нечітке відношення генерації з функцією приналежності

$$\mu(y, x): \Omega \times \Omega \rightarrow [0, 1].$$

$S(X)$  – функція вибору, яка породжена відношенням вибору:

$$S(X) = \{x \in X / \forall y \in [X \setminus S(X)], xR_S y\}. (4)$$

Вважається що функція генерації містить кількість рішень –  $N_e$ , а функція вибору –  $N_k$  рішень.

Оцінки математичного очікування:

$$x_0^i = (\sum_{j=1}^{N_G} \sum_{l=1}^{N_K} x_{lj}^i) / (N_G \cdot N_K). (5)$$

$$l = 1, 2, \dots, N_K, \quad j = 1, 2, \dots, N_G (6)$$

Емпіричні дисперсії:

$$\sigma_i^2 = (\sum_{j=1}^{N_G} \sum_{l=1}^{N_K} (x_{lj}^i - x_0^i)^2) / (N_G \cdot N_K - 1) (7)$$

Досягнення заданої точності:

$$E < \varepsilon, (8)$$

де  $\varepsilon$  – відомий параметр досягнення точності розв'язання задачі.

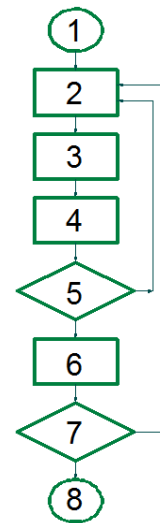


Рис. 1. Блок-схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді переваги /

Fig. 1. Flowchart evolutionary algorithm search with function selection as a preference

У блоці 1 розробленого алгоритму вводяться вхідні дані. Невідомі параметри еволюційного пошуку:

$$x = \{x_i\}, i = 1, 2, \dots, n. (9)$$

У блоці 2 розробленого алгоритму генеруються випадковим шляхом значення (9).

У блоці 3 розробленого алгоритму розраховуються цільові функції ( $E$ ) для кожного можливого рішення.

У блоці 4 алгоритму з усіх рішень  $N_e$  вибираються кращі рішення ( $N_k$ ) для даної гілки еволюційного процесу за критерієм  $E$ .

У блоці 5 відбувається розрахунок усіх гілок процесу ( $N_f$ ).

У блоці 6 алгоритму відбувається розрахунок нових значень параметрів випадкового пошуку на наступному кроці ітераційного процесу.

У блоці 7 перевіряється, чи досягнута запланована точність пошуку, якщо так, то задача вважається розв'язаною, якщо ні, то переходимо знов до генерації можливих рішень.

Блок 8 – кінець.

Ітераційний процес продовжується до досягнення запланованої точності визначення параметрів. Контроль за сходженням еволюційного пошуку здійснюється по значеннях невідомих параметрів у всіх незалежних гілках еволюційного процесу.

Розв'язуючи задачі синтезу сонячної архітектури з вимогами, що суперечать одна одній, одночасно необхідно розв'язувати задачу оптимізації за наявності двох функцій вибору.

Для розв'язання задачі синтезу з двома бінарними відношеннями вибору використовується алгоритм еволюційного пошуку, принципова схема якого наведена на рисунку 2.

Даний алгоритм еволюційного пошуку схожий з попереднім, але для розв'язання таких задач немає сенсу у функції переваги як функції вибору, тому використовується функція вибору у вигляді блокування.

$$X_{jk} = S^{R_{S12}}(G(X_{jk-1})), k=1, 2, \dots, n,$$

$$j=1, 2, \dots, N_f. \quad (10)$$

де  $k$  – крок ітераційного процесу пошуку;  $j$  – номер гілки еволюційного процесу;  $N_f$  – кількість гілок розрахунку еволюційного алгоритму;  $S^{R_{S12}}(X)$  – функція вибору у вигляді блокування;  $G(X)$  – функція генерації:

$$G(X) = X \cup G_H(X), \quad (11)$$

де  $G_H(X)$  – множина нових рішень, що породжені нечітким відношенням генерації  $R_G$  з функцією приналежності  $\mu_{R_G}(y,x): \Omega \times \Omega \rightarrow [0,1]$ .

$$G_H(X) = \{y \in \Psi \mid \exists x \in X, y R_G x, \mu_{R_G}(x,y) > 0\} \quad (12)$$

Відносно функції генерації будемо вважати таке. Якщо  $x_n$  – нове рішення  $x_n \in G_H(X)$ , то:

$$\forall l=1, 2, \dots, n P\{x_n \in S_l^{R_{S12}}(X)\} \geq \delta > 0, \quad (13)$$

де  $\delta$  – похибка виконання умови.

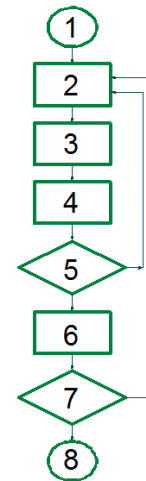


Рис. 2. Блок-схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді блокування / Fig. 2. Flowchart evolutionary algorithm search with function selection as a block

У блоці 1 розробленого алгоритму вводяться вхідні дані – сукупність параметрів трубчастого нагрівача, які визначають конструктивні і технологічні параметри та які задовольняють математичній моделі нагрівача  $x \in \Psi$ :

$$x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}. \quad (14)$$

У блоці 2 розробленого алгоритму генеруються випадковим шляхом можливі рішення (14).

У блоці 3 розробленого алгоритму для кожного набору (14) розраховуються цільові функції.

Існують вирази для двох критеріїв  $E_1 = E_1(x)$ ,  $E_2 = E_2(x)$ .



Припускаємо, що для критерію  $E_1(x)$  існує бінарне відношення вибору  $R_{S_1}$ , отже запис  $xR_{S_1}y$  означає, що рішення  $x$  «краще», ніж рішення  $y$  по критерію  $E_1$ , тобто:

$$xR_{S_1}y \Leftrightarrow E_1(x) \geq E_1(y). \quad (15)$$

Також вважаємо, що для критерію  $E_2$  існує бінарне відношення вибору  $R_{S_2}$ , отже:

$$xR_{S_2}y \Leftrightarrow E_2(x) \leq E_2(y). \quad (16)$$

Тоді складне відношення:

$$xR_{S_{12}}y \Leftrightarrow xR_{S_1}y \wedge xR_{S_2}y. \quad (17)$$

На підставі визначень (15) та (16) можна зробити висновок, що  $R_{S_1}$  і  $R_{S_2}$  – відношення нестрогого порядку, тобто мають властивості рефлексивності, транзитивності та антисиметричності. Тоді можна показати, що складне відношення (17) також буде відношенням нестрогого порядку. Відношення (17) також визначимо на множині  $\Psi$ , але не всякі елементи (можливі рішення) можна співставити за цим відношенням, тому що критерії  $E_1$  та  $E_2$  можуть суперечити один одному. Тому не має сенсу пошук найбільш переважного

рішення по відношенню  $R_{S_{12}}$  на множині  $\Psi$  і також немає сенсу у функції переваги як функції вибору.

У блоці 4 алгоритму з усіх рішень  $N_e$  вибираються  $N_k$  рішень, кращих за критерієм (17).

Функція вибору у вигляді блокування:

$$S^{R_{S_{12}}}(X) = \{x \in X \wedge \forall y \in X y \bar{R}_{S_{12}} x\}. \quad (18)$$

Для функції вибору (18) мають місце сукупності вкладених одна в одну функцій блокування:

$$S_1^{R_{S_{12}}}(X) \subset S_2^{R_{S_{12}}}(X) \subset \dots \subset S_l^{R_{S_{12}}}(X). \quad (19)$$

**Висновок.** На заключному етапі прийняття рішень з різноманітними характеристиками запропоновано застосовувати алгоритм еволюційного пошуку рішень.

Викладено дві схеми алгоритму пошуку рішень:

- 1) схема алгоритму еволюційного пошуку із функцією вибору у вигляді переваги;
- 2) схема алгоритму еволюційного пошуку із функцією вибору у вигляді блокування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Моделі та методи прийняття рішень : навчальний посібник / [О. Ф. Волошин, С. О. Машенко]. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 336 с.
2. Иродов В. Ф. О построении и сходимости алгоритмов самоорганизации случайного поиска / В. Ф. Иродов // Автоматика. – 1987. – № 4. – С. 34–43.
3. Стратан Ф. И. Эволюционные алгоритмы поиска оптимальных решений / Ф. И. Стратан, В. Ф. Иродов // Методы оптимизации при проектировании систем теплогоснабжения. – Кишинев, 1984. – С. 16–30.
4. Табунщиков Ю. А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации / Ю. А. Табунщиков // Архитектура и строительство Москвы. – 2006. – № 2–3. – С. 49–53.
5. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективное здание : синтез архитектуры и технологий / Ю. А. Табунщиков // Архитектура и строительство Москвы. – 2003. – № 2–3. – С. 14–23.
6. Теория выбора и принятия решений : учебное пособие / [И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов]. – Москва : Наука, 1982. – 330 с.
7. Чорноморець Г. Я. Збіжність рішень Парето оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2016. – Вып. 92. – С. 173–177.
8. Чорноморець Г. Я. Побудова чисельного методу Гальборкіна з використанням алгоритму еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2015. – № 86. – С. 132–137.
9. Фогель Л. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование / [Л. Фогель, А. Уолш]. – Москва : Мир, 1969. – 228 с.
10. Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений : монография / Д. Б. Юдин. – Москва : Наука, 1989. – 320 с.

11. Irodov V. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations / V. Irodov // Journal Systems Analysis Modeling Simulation. – New-York, USA Inc: Gordon and Breach Science Publishers, 1995. – Vol. 18–19. – Pp. 203 – 206.

## REFERENCES

1. Voloshyn O.F. and Mashchenko S.O. *Modeli ta metody pryyniattia rishen* [Models and methods of decision-making]. Kyiv : Kyiv University Publ., 2010, 336 p. (in Ukrainian).
2. Irodov V.F. *O postroenii i skhodimosti algoritmov samoorganizatsii sluchaynogo poiska* [The construction and convergence of random search algorithms for self-organization]. *Avtomatyka* [Automation]. 1987, iss. 4, pp. 34–43. (in Russian).
3. Stratan F.I. and Irodov V.F. *Evolutsionnye algoritmy poiska optimalnykh resheniy* [Evolutionary algorithms search for optimal solutions]. *Metody optimizatsii pri proektirovanii sistem teplogazosnabzheniya* [Methods of optimizing for design of heating systems]. 1984, pp. 16–30. (in Russian).
4. Tabunshhikov Ju.A. *Stroitel'nye koncepcii zdaniy XXI veka v oblasti teplosnabzheniya i klimatizatsii* [Construction concepts of buildings of the XXI century in the field of heat supply and air conditioning]. *Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy* [Moscow Architecture and Construction]. 2006, iss. 2–3, pp. 49–53. (in Russian).
5. Tabunshhikov Ju.A. *Jenergojefektivnoe zdanie: sintez arhitektury i tehnologij* [Energy Efficient Building : A Synthesis of Architecture and Technology]. *Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy* [Moscow Architecture and Construction]. 2003, iss. 2–3, pp. 14–23. (in Russian).
6. Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinskiy A.A. and Sokolov V.B. *Teoriya vyibora i prinyatiya resheniy* [The theory of choice and decision-making]. Moscow : Nauka Publ., 1982, 330 p. (in Russian).
7. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Zbizhnist` rishen` Pareto opty`mizatsiyi innovacijnogo proektu budivny`ctva z trubchasty`my` gazovy`my` nagrивachamy` u budivel`ny`x konstrukciyax* [Zbizhnist solution Pareto optimizatsii innovatsiynny project budivnitsva with pipe-like gas heats at the alarm constructions]. *Stroy`tel`stvo, materiy`alovedeny`e, mashy`nostroeny`e* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering], 2016, iss. 92, pp. 173–177. (in Ukrainian).
8. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Pobudova chysel'noho metodu Hal'orkina z vykorystannyam alhorytmu evolyutsiynoho poshuku naybil'sh pryvablyvykh rishen'* [Numerical galerkin method using algorithm of evolutionary search the preferred solution]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2015, iss. 86, pp. 132–137. (in Russian).
9. Fogel L. and Uolsh A. *Iskusstvennyy intellekt i evolyutsionnoye modelirovaniye* [Artificial intelligence and evolutionary modeling]. Moscow : Peace Publ., 1969, 228 p. (in Russian).
10. Yudin D.B. *Vychislitelnyye metody teorii prinyatiya resheniy* [Computational methods of decision theory]. Moscow: Science Publ., 1989, 320 p. (in Russian).
11. Irodov V.F. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations. Journal Systems Analysis Modeling Simulation. New-York, USA Inc: Gordon and Breach Science Publishers, 1995, vol. 18–19, pp. 203–206.

Надійшла до редакції 24.06.2019 р.

УДК 69.032.22:658.512.4

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.36.509

## ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СПОРУДЖЕННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., проф.*,  
СПІФАНЦЕВА С. В.<sup>2</sup>, *здоб.*

<sup>1\*</sup> Кафедра планування та організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: [kts789d@gmail.com](mailto:kts789d@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2</sup> Кафедра планування та організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: [pov@pgasa.dp.ua](mailto:pov@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-9296-8745

**Анотація. Постановка проблеми.** Зважаючи на значну вартість висотного будівництва, актуальним постає створення інструментарію прогнозування вартості спорудження висотних будівель в умовах щільної міської забудови, з урахуванням містобудівної цінності території та дотримання вимог щодо енергоощадності і біосферної сумісності висотних об'єктів, призначеного, перш за все, для потреб замовника, інвестора. **Мета статті** – розроблення методичного підходу до обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель з урахуванням їх енергоощадності, екологічності та містобудівної цінності території з подальшою програмною реалізацією. **Висновок.** За результатами моделювання зв'язку між факторними і результативними ознаками встановлено найбільш статистично достовірні моделі для обґрунтування вартості висотного будівництва, які дозволяють кількісно оцінити вплив визначальних організаційно-технологічних і економічних факторів на вартість спорудження висотних будівель і можуть бути використані для розроблення методики обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель. Оцінювання встановлених залежностей вартості висотного будівництва від визначальних організаційно-технологічних і економічних факторів за критерієм Фішера, а також практична апробація в проектно-будівельних організаціях підтвердили їх адекватність реальному процесу спорудження висотних будівель. Запропонований методичний підхід дозволяє, шляхом організаційно-економічних розрахунків, із застосуванням виявлених закономірностей впливу організаційно-технологічних та економічних факторів на вартість висотного будівництва, дати кількісну оцінку показникам ефективності організаційно-технологічних рішень.

**Ключові слова:** висотна будівля; висотне будівництво; вартість; енергоефективність; екологічність

## ПРОГРАМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

КРАВЧУНОВСКАЯ Т. С.<sup>1\*</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,  
ЕПИФАНЦЕВА С. В.<sup>2</sup>, *соиск.*

<sup>1\*</sup> Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: [kts789d@gmail.com](mailto:kts789d@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2</sup> Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: [pov@pgasa.dp.ua](mailto:pov@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-9296-8745

**Аннотация. Постановка проблемы.** Учитывая значительную стоимость высотного строительства, актуальной является задача создания инструментария прогнозирования стоимости строительства высотных зданий в условиях плотной городской застройки, с учетом градостроительной ценности территории и соблюдения требований по энергосбережению и биосферной совместимости высотных объектов, предназначенного, прежде всего, для нужд заказчика, инвестора. **Цель статьи** – разработка методического подхода к обоснованию и выбору рациональных организационно-технологических решений сооружения высотных зданий с учетом их энергосбережения, экологичности и градостроительной ценности территории с последующей программной реализацией. **Вывод.** По результатам моделирования связи между факторными и результативными признаками установлены наиболее статистически достоверные модели для обоснования стоимости высотного строительства, которые позволяют количественно оценить влияние определяющих

организационно-технологических и экономических факторов на стоимость строительства высотных зданий и могут быть использованы при разработке методики обоснования и выбора рациональных организационно-технологических решений сооружения высотных зданий. Оценка установленных зависимостей стоимости высотного строительства от определяющих организационно-технологических и экономических факторов по критерию Фишера, а также практическая апробация в проектно-строительных организациях подтвердили их адекватность реальному процессу строительства высотных зданий. Предложенный методический подход позволяет, путем организационно-экономических расчетов с применением выявленных закономерностей влияния организационно-технологических и экономических факторов на стоимость высотного строительства, дать количественную оценку показателям эффективности организационно-технологических решений.

**Ключевые слова:** *высотное здание; высотное строительство; стоимость; энергоэффективность; экологичность*

## SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE MODELS OF SUBSTANTIATION OF RATIONAL ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS

KRAVCHUNOVSKA T.S.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
YEPIFANTSEVA S.V.<sup>2</sup>, *Postgrad. Stud.*

<sup>1\*</sup> Department of Planning and Organization of Production, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: [ks789d@gmail.com](mailto:ks789d@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2\*</sup> Department of Planning and Organization of Production, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: [pov@pgasa.dp.ua](mailto:pov@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-9296-8745

**Abstract. Problem statement.** Considering the significant cost of high-rise construction, the urgent task is to create tools for the prediction of the cost of building high-rise buildings in dense urban areas, taking into account the urban development value of the territory and compliance with the requirements for energy conservation and biosphere compatibility of high-rise buildings, designed primarily for the needs of customer and investor. **Purpose of the article.** Development of a methodological approach to the substantiation and selection of rational organizational and technological solutions for the construction of high-rise buildings, taking into account their energy conservation, environmental friendliness and urban development value of the territory with subsequent program implementation. **Conclusion.** Based on the results of modeling the relationship between factor and effective signs, the most statistically reliable models were established to justify the cost of high-rise construction, which allow us to quantify the influence of determining organizational, technological and economic factors on the cost of the construction of high-rise buildings and can be used to develop a methodology for substantiating and choosing rational organizational and technological solutions for the construction of high-rise buildings. An assessment of the established dependences of the cost of high-rise construction on the determining organizational, technological and economic factors by the Fisher criterion, as well as practical testing in design and construction organizations, confirmed their adequacy to the real process of building high-rise buildings. The proposed methodological approach allows, through organizational and economic calculations using the identified patterns of the influence of organizational, technological and economic factors on the cost of high-rise construction, to quantify the performance indicators of organizational and technological decisions.

**Keywords:** *high-rise building; high-rise construction; cost; energy efficiency; environmental friendliness*

**Постановка проблеми.** Міста повинні постійно змінюватись, пристосовуючись до еволюціонуючих потреб населення і зміни соціально-побутового устрою суспільства. За таких умов висотне будівництво – це актуальний сучасний шлях розвитку великих міст [14; 16].

Зважаючи на значну вартість висотного будівництва, актуальним постала завдання створення інструментарію прогнозування вартості спорудження висотних будівель в умовах щільної міської забудови, з

урахуванням містобудівної цінності території та дотримання вимог щодо енергоощадності і біосферної сумісності висотних об'єктів, призначеного, перш за все, для потреб замовника, інвестора.

Обґрунтування та вибір раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель засновані на визначенні вартості висотного будівництва, у розрахунок якої необхідно брати до уваги системний вплив визначальних організаційно-технологічних і

економічних факторів, а також можливості коригування рішень, що розглядаються, з метою забезпечення заданих ресурсних обмежень.

**Аналіз публікацій.** Забезпеченню організаційно-технологічної та управлінської надійності спорудження об'єктів будівництва присвячено дослідження Є. І. Зайця [10; 18], В. Р. Млодецького [11], Д. О. Чернишева [16] та інших. Вони виконані для умов нового житлово-цивільного будівництва і ще не знайшли застосування в галузі висотного будівництва. Адаптація одержаних результатів до умов спорудження висотних будівель в ущільненій міській забудові може спонукати до принципово нових рішень.

В останні десятиліття одержали розвиток дослідження, присвячені розвитку наукових основ технології й організації будівельно-монтажних процесів, пов'язаних із спорудженням висотних будівель. До таких належать праці В. Г. Бадеяна [2], Д. Ф. Гончаренка [4], П. Є. Григоровського [5], Є. І. Зайця [6], С. В. Шатова [13] та інших, в яких розроблено прогресивні будівельні матеріали та технології; створено інструментарій забезпечення точності геометричних параметрів конструкцій висотних будівель, у тому числі вертикальних елементів жорсткості і колон; запропоновано рішення з комплексної безпеки та протипожежного захисту; розроблено рекомендації щодо обґрунтування організаційно-технологічних рішень спорудження висотних багатофункціональних комплексів, які забезпечують уведення в експлуатацію об'єктів із заданими техніко-економічними характеристиками.

Проблема висотного будівництва не може бути вирішена без досягнень у галузі архітектури, будівельних конструкцій, будівельного матеріалознавства та екології, які наведених в працях В. І. Большакова [3], Л. М. Ковальського [8], Т. Г. Маклакової [9], Mir M. Ali [17], He Jinchao [15], Sun Lijun [15], Akbar R. Tamboli [19], Ken Yeang [20] та інших науковців.

Незважаючи на наявність достатньо великої кількості ґрунтовних праць із різних аспектів висотного будівництва, до цього часу відсутнє вичерпне наукове обґрунтування організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель, яке враховувало б специфічні умови енергоощадності і біосферної сумісності таких об'єктів, а також містобудівну цінність територій, що потребує подальших досліджень у цьому напрямку.

**Мета статті** – розроблення методичного підходу до обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель з урахуванням їх енергоощадності, екологічності та містобудівної цінності території з його програмним втіленням.

**Результати досліджень.** Для виявлення та кількісної оцінки впливу визначальних факторів на техніко-економічні показники проаналізовано 25 проектів спорудження висотних будівель, відомості про які надано Комунальною організацією «Інститут Генерального плану м. Києва».

За результатами всіх поліноміальних залежностей вартості висотного будівництва ( $C$ ) від фактора якості висотної будівлі ( $f_{як}$ ), фактора безпечності висотної будівлі ( $f_{б}$ ), фактора енергоефективності висотної будівлі ( $f_{ен}$ ), фактора екологічності висотної будівлі ( $f_{екол}$ ), фактора ефективної експлуатації висотної будівлі ( $f_{експл}$ ) [7; 14] відібрано моделі, що посідають перше місце за якістю апроксимації експериментальних досліджень, які наведено в таблиці 1.

Виявлені залежності покладено в основу методики обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель з урахуванням їх енергоощадності, екологічності та містобудівної цінності території.

Сутність запропонованого методичного підходу до обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель, заснованого на врахуванні організаційно-технологічних аспектів реконструкції

житлових кварталів (мікрорайонів), показано на рисунку 1.

Запропонований підхід передбачає формування множини початкових даних, множини вимог і обмежень щодо отримання та застосування очікуваного результату, з урахуванням істотних умов реалізації проекту.

Початковими даними виступають такі:

- $f_{як_j}$  –  $j$ -та складова групи факторів якості висотної будівлі ( $j = \overline{1, m}$ );
- $m$  – кількість складових групи факторів якості висотної будівлі;
- $f_{б_мер_i}$  –  $i$ -та складова підгрупи факторів безпечності території висотної будівлі ( $i = \overline{1, n}$ );
- $n$  – кількість складових підгрупи факторів безпечності території висотної будівлі;
- $f_{б_вд_z}$  –  $z$ -та складова підгрупи факторів безпечності власне висотної будівлі ( $z = \overline{1, w}$ );
- $w$  – кількість складових підгрупи факторів безпечності власне висотної будівлі;
- $w_{б_мер}$  – коефіцієнт вагомості підгрупи факторів безпечності висотної будівлі;
- $w_{б_вд}$  – коефіцієнт вагомості підгрупи факторів безпечності території та безпечності власне будівлі;
- $f_{ен_k}$  –  $k$ -та складова підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує поліпшення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій ( $k = \overline{1, l}$ );
- $l$  – кількість складових підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує поліпшення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій;
- $w_{ен_1}$  – коефіцієнт вагомості підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує покращення теплотехнічних показників огорожувальних кон-струкцій;

- $f_{ен_g}$  –  $g$ -та складова підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує споживання енергетичних ресурсів інженерними системами ( $g = \overline{1, h}$ );
- $h$  – кількість складових підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує споживання енергетичних ресурсів інженерними системами;
- $w_{ен_2}$  – коефіцієнт вагомості підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує споживання енергетичних ресурсів інженерними системами;
- $f_{екол_1_p}$  –  $p$ -та складова підгрупи факторів екологічності зовнішнього середовища висотної будівлі ( $p = \overline{1, q}$ );
- $f_{екол_2_p}$  –  $p$ -та складова підгрупи факторів екологічності внутрішнього середовища висотної будівлі;
- $q$  – кількість складових підгруп факторів екологічності зовнішнього та внутрішнього середовища висотної будівлі;
- $w_{екол_1}$  – коефіцієнт вагомості підгрупи факторів екологічності зовнішнього середовища висотної будівлі;
- $w_{екол_2}$  – коефіцієнт вагомості підгрупи факторів екологічності внутрішнього середовища висотної будівлі;
- $f_{експл_u}$  –  $u$ -та складова групи факторів забезпечення ефективної експлуатації висотної будівлі ( $u = \overline{1, v}$ );
- $v$  – кількість складових групи факторів забезпечення ефективної експлуатації висотної будівлі.

На підставі введених початкових даних обчислюються значення фактора якості висотної будівлі ( $f_{як}$ ), фактора безпечності висотної будівлі ( $f_{б}$ ), фактора енергоефективності висотної будівлі ( $f_{ен}$ ), фактора екологічності висотної будівлі ( $f_{екол}$ ), фактора ефективної експлуатації висотної будівлі ( $f_{експл}$ ).

Застосовуючи розраховані значення вказаних факторів, обчислюємо прогнозовану вартість спорудження висотної будівлі на основі статистично

достовірних моделей, наведених у таблиці 1.

Якщо отримане значення вартості спорудження висотної будівлі не відповідає існуючим вимогам та обмеженням, відбувається коригування значень визначальних факторів, перерахунок вартості й виведення діапазону значень прогнозованої вартості.

У випадку, коли користувачем запропонованого підходу є замовник або інвестор, доцільно буде врахувати містобудівну цінність території шляхом множення прогнозованого значення вартості висотного будівництва на відповідний коефіцієнт.

Таблиця 1

Поліноміальні моделі для обґрунтування вартості висотного будівництва /  
The polynomial models to justify the cost of high-rise construction

Вид залежності	Коефіцієнт детермінації, %	Значення критерію Фішера	
		фактичне, $F_\phi$	табличне, $F_m$
$C = -108589 + 253952 \cdot f_{як} - 145316 \cdot f_{як}^2$	83,4	55,26	4,28
$C = -113714 + 248396 \cdot f_6 - 133127 \cdot f_6^2$	87,66	78,12	4,28
$C = -58311 + 133550 \cdot f_{ен} - 73647,7 \cdot f_{ен}^2$	95,84	253,57	4,28
$C = -36046,3 + 89783,5 \cdot f_{екол} - 52613,2 \cdot f_{екол}^2$	95,53	235,18	4,28
$C = -75414,9 + 186571 \cdot f_{експл} - 111878 \cdot f_{експл}^2$	95,51	233,98	4,28

Коефіцієнт, що враховує містобудівну цінність території, може бути визначений за такою формулою:

$$k_{мит} = \frac{x_i^m}{x_{max}^m},$$

де  $x_i^m$  – значення коефіцієнта, який характеризує місце розташування  $i$ -ї земельної ділянки;  $x_{max}^m$  – максимальне значення коефіцієнта, що характеризує місце розташування земельної ділянки в цьому ж населеному пункті.

Для оцінювання значень коефіцієнта, що характеризує містобудівну цінність території, доцільно скористатися викладеною в [1] методикою, яка полягає в наступному.

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

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

де  $km2_i$  – зональний коефіцієнт, який характеризує містобудівну цінність

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

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

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

- неоднорідності функціонально-планувальних якостей території;
- доступності до центру населеного пункту, місць концентрації трудової діяльності, центрів громадського обслуговування, масового відпочинку;
- рівня інженерного забезпечення та благоустрою території;

- рівня розвитку сфери обслуговування населення;
- екологічної якості території;
- соціально-містобудівної привабливості середовища: різноманітність місць докладання праці, наявність історико-культурних та природних пам'яток, естетика архітектурної забудови тощо.

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

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

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

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

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

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

- забезпеченість інженерною інфраструктурою (відсутнє тверде покриття вулиці, відсутнє централізоване водопостачання, відсутня каналізація, відсутнє централізоване газопостачання) [12].

До переваг запропонованого методичного підходу до обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель належать:

- можливість прогнозування вартості висотного будівництва за різних обсягів наявної інформації щодо особливостей висотної будівлі та умов реалізації проекту;

- врахування системного впливу визначальних факторів, що характеризують якість, безпечність, енергоощадність, екологічність та ефективність експлуатації, для визначення вартості спорудження висотної будівлі;

- можливість коригування значення вартості спорудження висотної будівлі відповідно до існуючих вимог та обмежень шляхом варіювання значень параметрів об'єкта.

Для забезпечення актуальною інформацією щодо прогнозованої вартості висотного будівництва для прийняття своєчасних рішень необхідний інструмент оперативної обробки та аналізу початкових даних. Із цією метою здійснено програмну реалізацію моделей обґрунтування раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель, з використанням запропонованого алгоритму обґрунтування ефективності реалізації проектів висотного будівництва (рис. 1), за допомогою додатка Microsoft Access, засоби якого дозволяють суттєво спростити процеси введення та оброблення початкових даних, аналізу даних, а також подання



розрахованих значень досліджуваних показників у вигляді звітів.

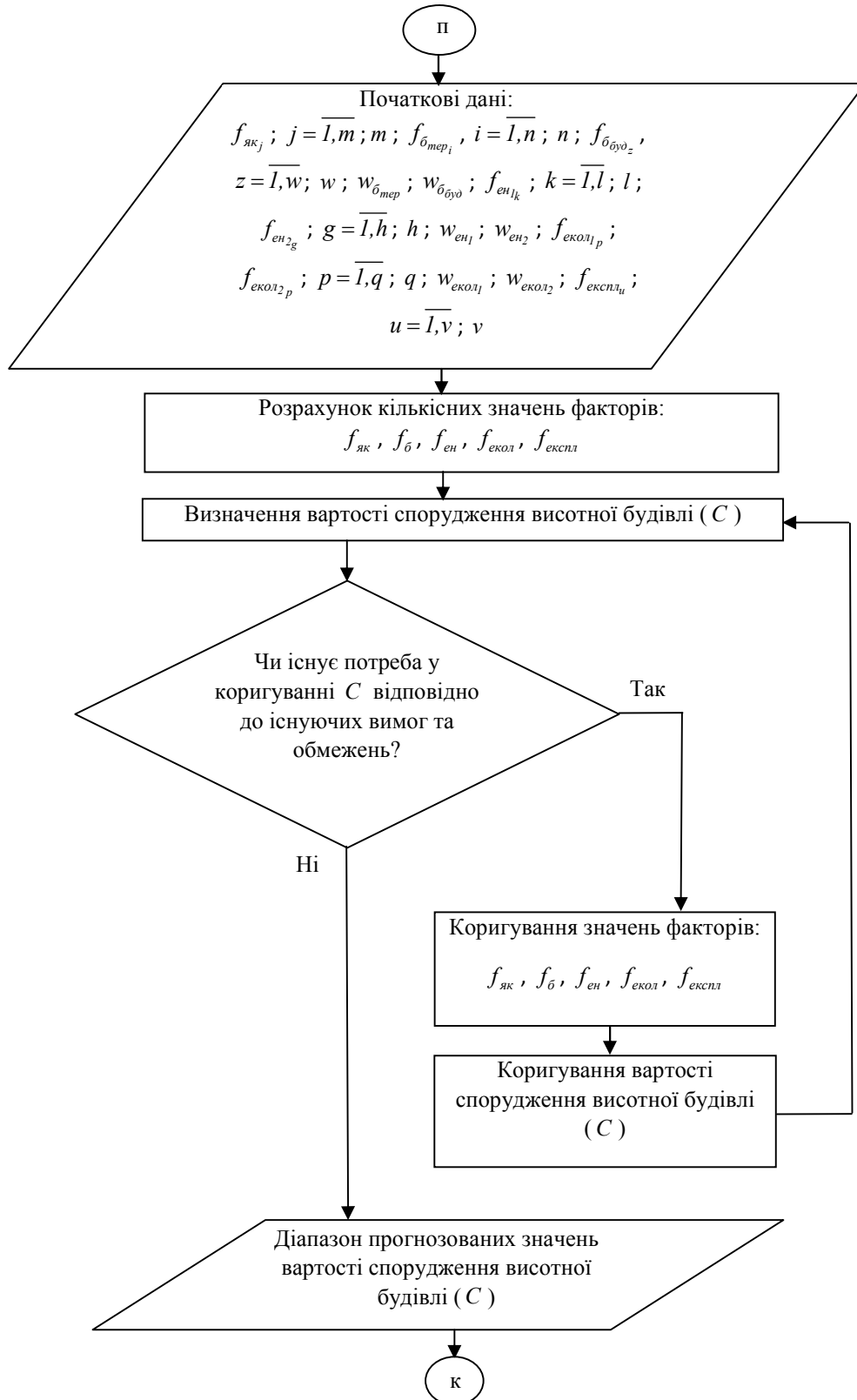


Рис. 1. Блок-схема обґрунтування раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель / Fig. 1. The block diagram of the rationale for rational organizational and technological solutions for the construction of high-rise buildings

Розроблений програмний продукт дозволяє ухвалювати науково обґрунтовані рішення щодо ефективності реалізації проектів висотного будівництва за критерієм його вартості завдяки врахуванню системного впливу визначальних факторів.

Уведення початкової інформації виконується за допомогою закладок, що містять окремі поля, з яких інформація надходить до бази даних, де потім зберігається.

Спочатку до бази даних вводиться інформація щодо значень:  $j$ -тих складових групи факторів якості висотної будівлі ( $f_{як_j}$ ),  $i$ -тих складових підгрупи факторів безпечності території висотної будівлі ( $f_{тер_i}$ ),  $z$ -тих складових підгрупи факторів безпечності власне висотної будівлі ( $f_{б\ddot{y}д_z}$ ),  $k$ -тих складових підгрупи факторів

енергоефективності, яка характеризує поліпшення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій ( $f_{ен1_k}$ ),  $g$ -тих складових підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує споживання енергетичних ресурсів інженерними системами ( $f_{ен2_g}$ ),  $p$ -тих складових підгруп факторів екологічності зовнішнього середовища висотної будівлі ( $f_{екол1_p}$ ) та внутрішнього середовища висотної будівлі ( $f_{екол2}$ ),  $u$ -тих складових групи факторів забезпечення ефективної експлуатації висотної будівлі ( $f_{експл_u}$ ) (рис. 2).

Інформація вводиться за групами, що відповідають назві закладок у формі для введення та зміни даних.

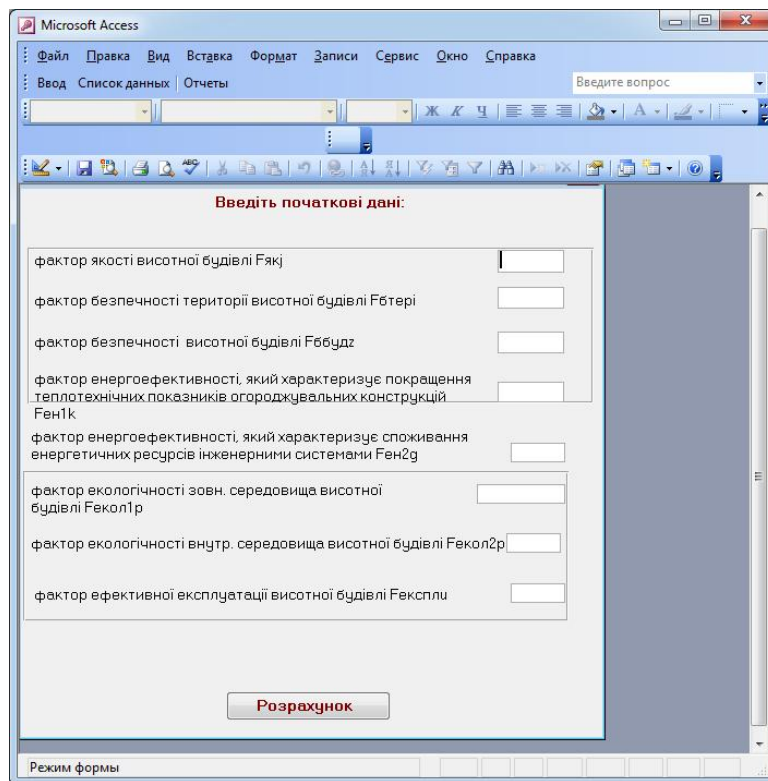


Рис. 2. Уведення до бази даних початкової інформації щодо складових груп (підгруп) факторів /  
 Fig. 2. The introduction to the database of initial information on constituent groups (subgroups) of factors

Також до бази даних вводяться значення: коефіцієнта вагомості підгрупи факторів безпечності території  $w_{тер}$ , коефіцієнта вагомості підгрупи факторів

безпечності висотної будівлі  $w_{б\ddot{y}д}$ , коефіцієнти вагомості підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує покращення теплотехнічних показників

огорожувальних конструкцій  $w_{ен1}$ , коефіцієнти вагомості підгрупи факторів енергоефективності, яка характеризує споживання енергетичних ресурсів інженерними системами  $w_{ен2}$ , коефіцієнта вагомості підгрупи факторів екологічності зовнішнього середовища висотної будівлі  $w_{екол1}$ , коефіцієнта вагомості підгрупи факторів екологічності внутрішнього середовища висотної будівлі  $w_{екол2}$  (рис. 3) із можливістю зміни цих даних.

На основі введених початкових даних розраховуються значення визначальних факторів: фактора якості висотної будівлі ( $f_{як}$ ), фактора безпечності висотної будівлі ( $f_{б}$ ), фактора енергоефективності висотної будівлі ( $f_{ен}$ ), фактора екологічності висотної будівлі ( $f_{екол}$ ), фактора ефективної експлуатації висотної будівлі ( $f_{експл}$ ), які потім використовуються для розрахунку прогнозованої вартості висотного будівництва за допомогою моделей, наведених у таблиці 1 (рис. 4).

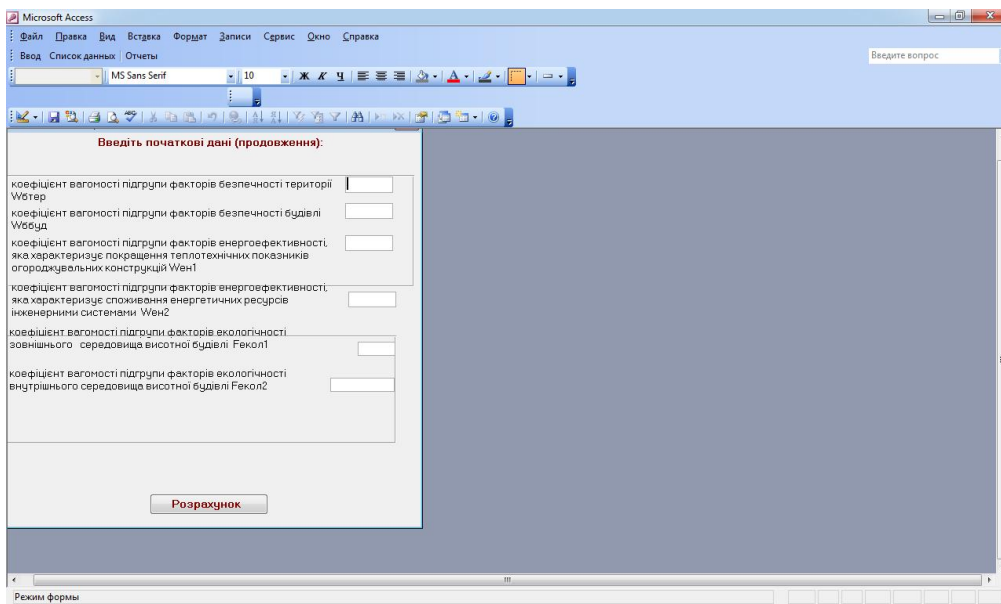


Рис. 3. Введення до бази даних початкової інформації щодо коефіцієнтів вагомості підгруп факторів / Fig. 3. The introduction to the database of initial information on the weighting factors of subgroups of factors

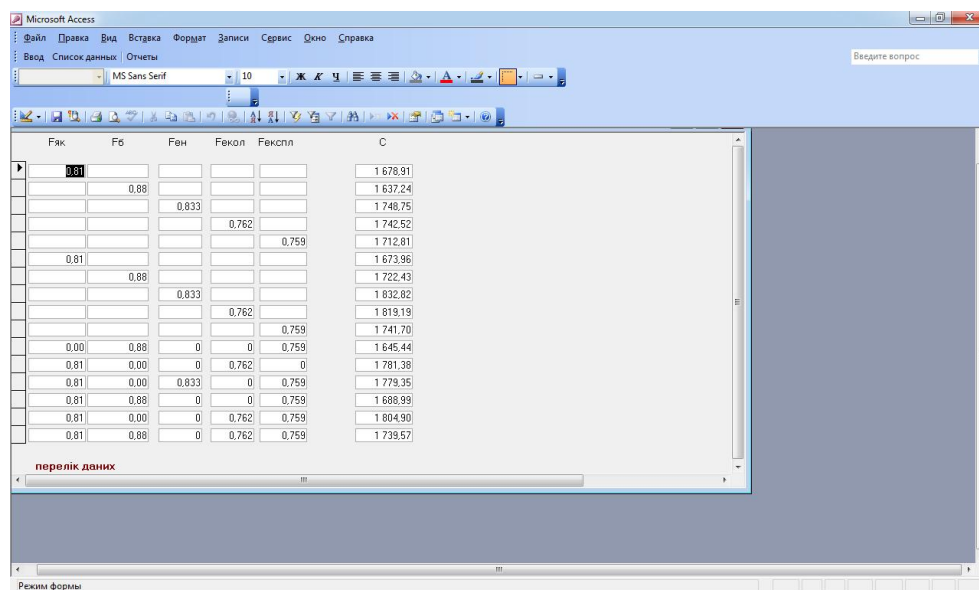


Рис. 4. Результати розрахунку вартості висотного будівництва / Fig. 4. The results of the calculation of the cost of high-rise construction

Результати розрахунку прогнозованої вартості висотного будівництва наведені у звіті про одержані результати (рис. 5). Отримані розрахункові значення вартості висотного будівництва сортуються за зростанням (рис. 6). За результатами виконаних розрахунків здійснюється виведення діапазону значень прогнозованої вартості висотного будівництва (рис. 7).

Розроблений програмний продукт на основі створеної бази даних може бути вдосконалений відповідно до потреб користувача та переліку вирішуваних завдань.

Застосування такого програмного

продукту для вирішення завдання обґрунтування організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель дозволить скоротити витрати часу, зменшити трудомісткість і підвищити рівень оперативності надання оброблених даних для подальшого прийняття рішень.

Розроблений програмний продукт може використовуватися замовниками, інвестори, проектувальниками, підрядниками проектів висотного будівництва, органи управління державного та місцевого рівнів, а також інше учасники інвестиційно-будівельного процесу для обґрунтування ефективності спорудження висотних будівель.

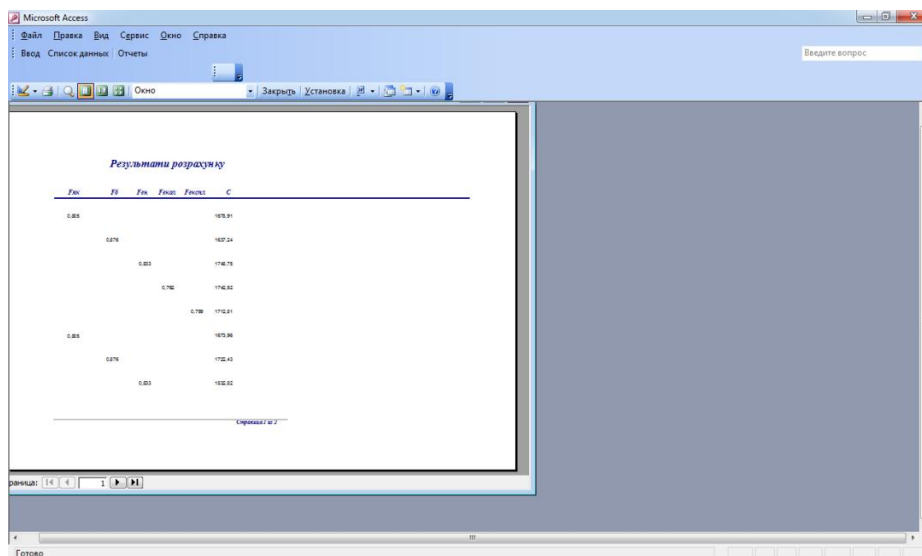


Рис. 5. Звіт про результати розрахунку вартості висотного будівництва /  
Fig. 5. The report on the results of calculating the cost of high-rise construction

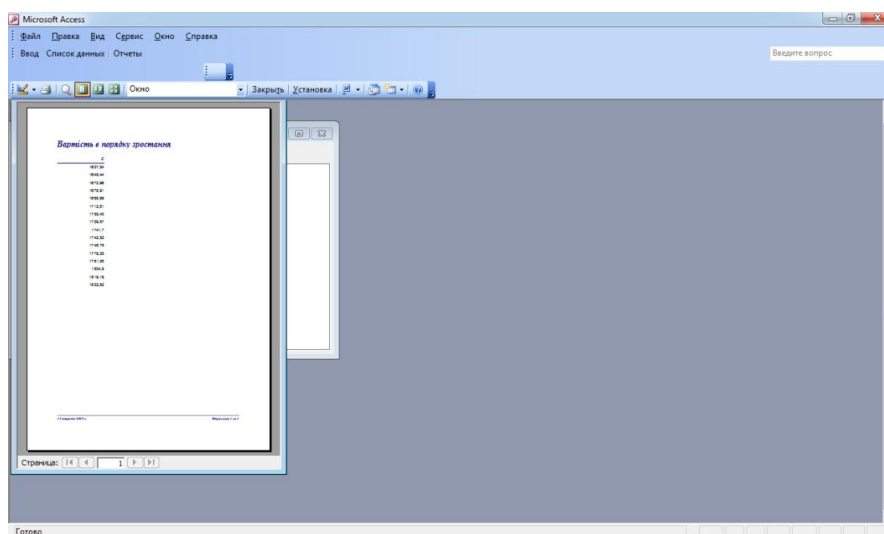


Рис. 6. Сортування результатів розрахунку вартості висотного будівництва в порядку зростання /  
Fig. 6. The sorting the results of calculating the cost of high-rise construction in ascending order

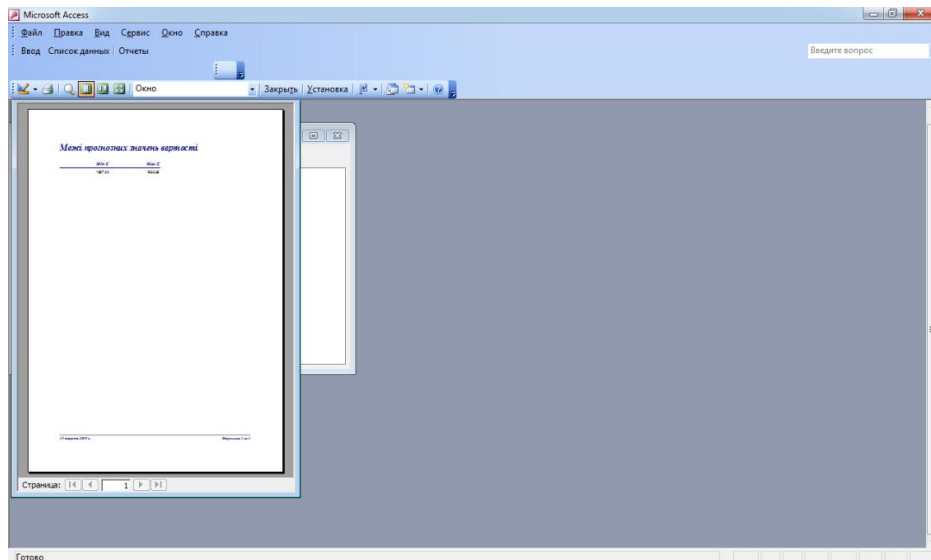


Рис. 7. Виведення діапазону прогнозованих значень вартості висотного будівництва /  
 Fig. 7. Output of the range of estimated values of the value of high-rise construction

**Висновки.** За результатами моделювання зв'язку між факторними і результативними ознаками встановлено найбільш статистично достовірні моделі для обґрунтування вартості висотного будівництва, які дозволяють кількісно оцінити вплив визначальних організаційно-технологічних і економічних факторів на вартість спорудження висотних будівель і можуть бути використані для розроблення методики обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель з урахуванням умов ущільненої забудови.

Оцінювання встановлених залежностей вартості висотного будівництва від визначальних організаційно-технологічних і економічних факторів за критерієм Фішера, а також практична апробація в проектно-будівельних організаціях підтвердили їх адекватність реальному процесу спорудження висотних будівель.

На основі виконаних досліджень запропоновано методичний підхід до обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень

спорудження висотних будівель з урахуванням їх енергоощадності, екологічності та містобудівної цінності території.

Запропонований методичний підхід дозволяє шляхом організаційно-економічних розрахунків, із застосуванням виявлених закономірностей впливу організаційно-технологічних та економічних факторів на вартість висотного будівництва, дати кількісну оцінку показникам ефективності організаційно-технологічних рішень.

Розроблена методика обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель призначена для органів управління державного і місцевого рівнів, інвесторів, розробників інвестиційних проектів, проектних і науково-дослідних організацій, інших учасників процесу розроблення і реалізації інвестиційно-будівельних проектів, а також осіб і підприємств, що здійснюють експертизу таких проектів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Порядок нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів. Наказ Державного комітету України по земельних ресурсах № 18/15/21/11 від 27.01.2006 р. – Режим доступу : [zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0388-06](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0388-06).

2. Технологические основы возведения монолитных железобетонных каркасов в высотном жилищном строительстве : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.23.08 – Технологія та організація промислового та цивільного будівництва / [Бадеян Гагик Ваникович]. – Киев. нац. ун-т стр-ва и архитектуры. – Киев, 2000. – 409 с.
3. Основы формообразования стальных каркасов многоэтажных и высотных зданий: монография / [В. И. Большаков, М. М. Жербин, О. В. Разумова]. Под общ. ред. М. М. Жербина. – Днепропетровск : ПГАСА, 2003. – 124 с.
4. Возведение многоэтажных каркасно-монолитных зданий : монография / [Д. Ф. Гончаренко, Ю. В. Карпенко, Е. И. Меерсдорф]. – Киев : А+С, 2013. – 128 с.
5. Методологічні основи формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при зведенні та експлуатації будівель і споруд : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.08 – Технологія та організація промислового та цивільного будівництва / [Григоровський Петро Євгенович]. – Харків : ХНУБА, 2019. – 38 с.
6. Методологічні принципи обґрунтування організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів : дисс. д. т. н. : 05.23.08 – Технологія та організація промислового та цивільного будівництва / [Заяць Євген Іванович]. – ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – Дніпропетровськ, 2015. – 391 с.
7. Ковальов В. В. Систематизація організаційно-технологічних та інших факторів, які впливають на вартість будівництва об'єктів, з урахуванням вимог щодо їх енергоефективності і екологічності / В. В. Ковальов, Т. В. Данилова, С. В. Спіфанцева // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2018. – № 6. – С. 57–64.
8. Архітектурне проектування висотних будинків : навч. посіб. / [Л. М. Ковальський, Г. В. Кузьміна, Г. Л. Ковальська]. За заг. ред. Л. М. Ковальського. – Київ : КНУБА, 2009. – 121 с.
9. Маклакова Т. Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования : монография / Т. Г. Маклакова. – Москва : АСВ, 2008. – 160 с.
10. Методи забезпечення управлінської реалізованості календарних планів зведення об'єктів будівництва : монографія / [Є. І. Заяць, В. Р. Млодецький, Т. В. Ткач, О. О. Мартиш]. – Дніпро : Акцент-ПП, 2019. – 148 с.
11. Млодецкий В. Р. Управленческая реализуемость строительных проектов : монография / В. Р. Млодецкий. – Днепропетровск : Наука і освіта, 2005. – 261 с.
12. Заяць Є. І. Обґрунтування вартості будівництва житла з урахуванням чинника інвестиційної привабливості територій / Є. І. Заяць, І. В. Трифонов, С. П. Броневицький, С. В. Спіфанцева // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 11. – С. 31–37.
13. Самопідйома опалубка : пат. 109160 Україна: МПК E04G 11/20 (2006.01), E04G 11/24 (2006.01). Заявники : Большаков В. І., Шатов С. В., Кравчуновська Т. С., Заяць Є. І., Тютерева В. І. Власники : Большаков В. І., Шатов С. В., Кравчуновська Т. С., Заяць Є. І. № и 2016 02524; заявл. 15.03.2016; опубл. 10.08.2016. Бюл. № 15.
14. Ковальов В. В. Формування вимог до об'єктів будівництва протягом їх повного життєвого циклу / В. В. Ковальов, Т. С. Кравчуновська, Т. В. Данилова, С. В. Спіфанцева // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – Київ : КНУБА, 2019. – Вип. 39, ч. 1. – С. 179–186.
15. Сто высотных зданий. Примеры объемно-планировочных решений : монография / [Хэ Цзиньчао, Сунь Лицзюнь]; пер. с кит. Ян Бинхао; научн. ред. Т. Г. Маклакова. – Москва : АСВ, 2007. – 132 с.
16. Науково-методологічний інструментарій організації будівництва на засадах біосферосумісності : дисс. д. т. н. : 05.23.08 – Технологія та організація промислового та цивільного будівництва / [Чернишев Денис Олегович]. – Дніпро, 2018. – 430 с.
17. Beedle L. S. The skyscraper and the city: design, technology, and innovation / L. S. Beedle, Mir M. Ali, Paul J. Armstrong]. – Lewiston : Edwin Mellen Press, 2007. – 912 p.
18. Zaiats Ye. I. Risk level assessment while organizational-managerial decision making in the condition of dynamic external environment / [Ye. I. Zaiats, V. V. Kovalov, T. S. Kravchunovska, O. V. Kirnos] // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2018. – № 2 (164). – P. 123–129. (*Scopus*)
19. Tamboli A. R. Tall and supertall buildings: planning and design / [Akbar R. Tamboli]. – New-York : McGraw-Hill, 2014. – 416 p.
20. Yeang K. The skyscraper, bioclimatically considered : a design primer / [Ken Yeang]. – New-York : Wiley-Academy, 1997. – 200 p.

## REFERENCES

1. *Pro poriadok normatyvnoi hroshovoi otsinky zemel silskohospodarskoho pryznachennia ta naselenykh punktiv: Nakaz Derzhavnoho komitetu Ukrainy po zemelnykh resursakh № 18/15/21/11, 27.01.2006.* [About the Procedure of the regulatory monetary valuation of agricultural lands and settlements. Order of the State Committee of Ukraine for Land Resources]. Available at: zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0388-06 (Accessed: 01 August 2019). (in Ukrainian)

2. Badeyan G.V. *Tekhnologicheskie osnovy vozvedeniya monolitnykh zhelezobetonnykh karkasov v visotnom zhilishchnom stroitelstve : Dokt. Diss.* [Technological basis for the construction of monolithic reinforced concrete frames in high-rise residential construction : Doct. Diss.]. Kyiv, 2000, 409 p. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Zherbin M.M. and Razumova O.V. *Osnovi formoobrazovaniya stalnykh karkasov mnogoetazhnykh i visotnykh zdaniy* [The basics of shaping steel frames of multi-story and high-rise buildings]. Dnepropetrovsk: PSACEA Publ., 2003, 124 p. (in Russian).
4. Honcharenko D.F., Karpenko Yu.V. and Meersdorf E.I. *Vozvedenie mnogoetazhnykh karkasno-monolitnykh zdaniy* [The construction of multi-storey frame-monolithic buildings]. Kyiv : A+S Publ., 2013, 128 p. (in Russian).
5. Hryhorovskiy P.Ye. *Metodolohichni osnovy formuvannia orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen instrumentalnykh vymiryuvan pry zvedenni ta ekspluatatsii budivel i sporud* [Methodological bases of formation of organizational and technological decisions of instrumental measurements during the erection and operation of buildings and structures. Author's abstract]. Kharkiv, 2019, 38 p. (in Ukrainian).
6. Zaiats Ye.I. *Metodolohichni pryntsypy obhruntuvannia orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen zvedennia vysotnykh bahatofunktionalnykh kompleksiv : Dokt. Diss.* [Methodological principles of substantiation of organizational and technological solutions for the construction of high-rise multifunctional complexes : Doct. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2015, 391 p. (in Ukrainian).
7. Kovalov V.V., Danylova T.V. and Yepifantseva S.V. *Systematyzatsiia orhanizatsiino-tekhnologichnykh ta inshykh faktoriv, yaki vplyvaiut na vartist budivnytstva ob'ektiv z urakhuvanniam vymoh shchodo ikh enerhoefektyvnosti i ekolohichnosti* [Systematization of organizational and technological and others factors affecting the cost of building objects with the requirement for their energy efficiency and environmentality]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, iss. 6, pp. 57–64. (in Ukrainian).
8. Kovalskyi L.M., Kuzmina H.V. and Kovalska H.V. *Arkhitekturne proektuvannia vysotnykh budynkiv* [Architectural design of high-rise buildings]. Kyiv : KNUBA Publ., 2009, 121 p. (in Ukrainian).
9. Maklakova T. G. *Vysotnye zdaniya. Gradostroitelnye i arkhitekturno-konstruktivnye problemy proektirovaniya: monografiya* [High-rise buildings. Urban planning and architectural design issues]. Moscow : ASV Publ., 2008, 160 p. (in Russian).
10. Zaiats Ye.I., Mlodetskiy V.R., Tkach T.V. and Martysh O.O. *Metody zabezpechennia upravlinskoj realizovanosti kalendarnykh planiv zvedennia ob'ektiv budivnytstva* [Methods to ensure the management of calendar plans for the construction of building objects]. Dnipro : Aktsent-PP Publ., 2019, 148 p. (in Ukrainian).
11. Mlodetskiy V.R. *Upravlencheskaya realizuemost stroitelnykh proektov* [Managerial feasibility of construction projects]. Dnepropetrovsk : Nauka i Osvita Publ., 2005, 261 p. (in Russian).
12. Zaiats Ye.I., Trifonov I.V., Bronevskyi S.P. and Yepifantseva S.V. *Obhruntuvannia vartosti budivnytstva zhytla z urakhuvanniam investytsiinoi pryvablyvosti terytorii* [Substantiation of the cost of housing construction taking into account the factor of investment attractiveness of territories]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2015, iss. 11, pp. 31–37. (in Ukrainian).
13. Bolshakov V.I., Shatov S.V., Kravchunovska T.S., Zaiats Ye.I. and Tiutierieva V.I. *Samopididomna opalubka* [Self-elevating formwork]. Pat. 109160 Ukraine: E04G 11/20 (2006.01), E04G 11/24 (2006.01). No. u 2016 02524. Bull. no. 15.
14. Kovalov V.V., Kravchunovska T.S., Danylova T.V. and Yepifantseva S.V. *Formuvannia vymoh do ob'ektiv budivnytstva protiahom ikh povnoho zhyttievoho tsykladu* [Formation of requirements for building objects throughout their full life cycle] *Shliakh pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia runkovykh vidnosyn* [Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of formation of market relations]. 2019, iss. 39, p. 1, pp. 179–186. (in Ukrainian).
15. He Jinchao and Sun Lijun. *Sto visotnykh zdaniy. Primeri obemno-planirovochnykh resheniy* [One hundred high-rise buildings. Examples of space-planning decisions]. Moscow : ASV Publ., 2007, 132 p. (in Russian).
16. Chernyshev D.O. *Naukovo-metodolohichniy instrumentarii orhanizatsii budivnytstva na zasadkh biosferosumisnosti: Dokt. Diss.* [Scientific and methodological tools for organization of construction on the basis of biosphere compatibility : Doct. Diss.]. Dnipro, 2019, 430 p. (in Ukrainian).
17. Lynn S. Beedle, Mir M. Ali, Paul J. Armstrong *The skyscraper and the city: design, technology, and innovation.* Lewiston : Edwin Mellen Press, 2007, 912 p.
18. Zaiats Ye.I., Kovalov V.V., Kravchunovska T.S. and Kirnos O.V. Risk level assessment while organizational-managerial decision making in the condition of dynamic external environment. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* 2018, iss. 2 (164), pp. 123–129.
19. Tamboli A.R. *Tall and supertall buildings: planning and design.* New-York : McGraw-Hill, 2014, 416 p.
20. Yeang K. *The skyscraper, bioclimatically considered: a design primer.* New-York : Wiley-Academy, 1997, 200 p.

Надійшла до редакції: 02.07.2019 р.

УДК 621.432.3

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.49.510

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ БЕЗШАТУННОГО ДВИГУНА. МОДЕЛЬ ЦИЛІНДРА

КОЛІСНИКОВА Т. М.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,

ТАТАРЧУК О. В.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.,

ЗАЯЦЬ Г. В.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.,

СТАДНИК В. Л.<sup>4</sup>, доц.,

КОНОВАЛЕНКО Ю. І.<sup>5</sup>, ас.

<sup>1\*</sup> Кафедра експлуатації та ремонту машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [tnk1403@ukr.net](mailto:tnk1403@ukr.net), ORCIDID: 0000-0002-8568-4688

<sup>2</sup> Кафедра експлуатації та ремонту машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [tatarchuk.olexandr@pgasa.dp.ua](mailto:tatarchuk.olexandr@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0003-2833-1330

<sup>3</sup> Кафедра експлуатації та ремонту машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [zaiats.heorhii@pgasa.dp.ua](mailto:zaiats.heorhii@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0002-7405-7259

<sup>4</sup> Кафедра експлуатації та ремонту машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [stadnyk.viktor@pgasa.dp.ua](mailto:stadnyk.viktor@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0002-6507-6335

<sup>5</sup> Кафедра експлуатації та ремонту машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [konovalenko.yurii@pgasa.dp.ua](mailto:konovalenko.yurii@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0001-8348-5581

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Наразі існує багато відомих методик і математичних моделей для розрахунку робочого процесу чотиритактного ДВЗ. Однак відомі моделі не враховують впливу кінематики двигуна, що має свої особливості в більшості ДВЗ. Все це не дозволяє практично використати відомі математичні моделі робочого циклу двигуна й відповідно оптимізувати параметри безшатунного ДВЗ. Модель двигуна можна подати складеною з декількох підмоделей: модель впускної системи (повітроочисник, карбюратор або дросельна заслінка, впускний трубопровід, головка циліндрів, впускний клапан); модель циліндра (процеси наповнення, стискання, згоряння й розширення); модель випускної системи (впускний клапан, випускний трубопровід, глушник). **Мета статті** – запропонувати модель циліндра та уточнену методику розрахунку робочого циклу двигуна, що включає в основу модель впускного трубопроводу. **Висновок.** За точністю розрахунків ця математична модель не поступається відомим програмам, але значно простіша, менш трудомістка й вимагає меншого машинного часу. Модель зміни параметрів робочого тіла в циліндрі використовується для розрахунку процесів наповнення, стискання, згоряння й розширення. Модель випускної системи дозволяє визначати витрату відпрацьованих газів через випускний клапан за поточним тиском у циліндрі й середнім тиском у випускному трубопроводі. Вона дозволяє оцінювати заходи, направлені на оптимізацію конструкції двигуна й підвищення його паливної економічності.

**Ключові слова:** безшатульний ДВЗ; модель циліндра; робочий цикл; паливна економічність; оптимізація параметрів ДВЗ; модель впускної системи; модель випускної системи

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА БЕЗШАТУННОГО ДВИГАТЕЛЯ. МОДЕЛЬ ЦИЛИНДРА

КОЛЕСНИКОВА Т. Н.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,

ТАТАРЧУК А. В.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.,

ЗАЯЦЬ Г. В.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.,

СТАДНИК В. И.<sup>4</sup>, доц.,

КОНОВАЛЕНКО Ю. И.<sup>5</sup>, асс.

<sup>1\*</sup> Кафедра эксплуатации и ремонта машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [tnk1403@ukr.net](mailto:tnk1403@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-8568-4688

<sup>2</sup> Кафедра эксплуатации и ремонта машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-68,



e-mail: [tatarchuk.olexandr@pgasa.dp.ua](mailto:tatarchuk.olexandr@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0003-2833-1330

<sup>3</sup> Кафедра эксплуатации и ремонта машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [zaiats.heorhii@pgasa.dp.ua](mailto:zaiats.heorhii@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-7405-7259

<sup>4</sup> Кафедра эксплуатации и ремонта машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [stadnyk.viktor@pgasa.dp.ua](mailto:stadnyk.viktor@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-6507-6335

<sup>5</sup> Кафедра эксплуатации и ремонта машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [konovalenko.yurii@pgasa.dp.ua](mailto:konovalenko.yurii@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-8348-5581

**Аннотация. Постановка проблемы.** В настоящее время имеется значительное число известных методик и математических моделей для расчета рабочего процесса четырехтактного ДВС. Однако известные модели не учитывают влияния кинематики двигателя, которая имеет свои особенности в большинстве ДВС. Все это не позволяет практически использовать известные математические модели рабочего цикла двигателя и соответственно оптимизировать параметры бесшатунного ДВС. Модель двигателя можно представить составленной из нескольких подмоделей: модель впускной системы (воздухоочиститель, карбюратор или дроссельная заслонка, впускной трубопровод, головка цилиндров, впускной клапан); модель цилиндра (процессы наполнения, сжатия, сгорания и расширения); модель выпускной системы (выпускной клапан, выпускной трубопровод, глушитель). **Цель статьи** – предложить модель цилиндра и уточненную методику расчета рабочего цикла двигателя, включающую в основу модель впускного трубопровода. **Вывод.** По точности расчетов данная математическая модель не уступает известным программам, но значительно проще, менее трудоемка и требует меньшего машинного времени. Модель изменения параметров рабочего тела в цилиндре используется для расчета процессов наполнения, сжатия, сгорания и расширения. Модель выпускной системы позволяет определять расход отработанных газов через выпускной клапан по текущему давлению в цилиндре и среднему давлению в выпускном трубопроводе. Она позволяет оценивать меры, направленные на оптимизацию конструкции двигателя и повышение его топливной экономичности.

**Ключевые слова:** бесшатунный ДВС; модель цилиндра; рабочий цикл; топливная экономичность; оптимизация параметров ДВС; модель впускной системы; модель выпускной системы

## THEORETICAL INVESTIGATION OF OPERATING PROCESS OF CONROD-FREE MODEL CYLINDER

KOLIISNIKOVA T.M.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

TATARCHUK O.V.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

ZAIATS H.V.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

STADNYK V.I.<sup>4</sup>, *Ass. Prof.*,

KONOVALENKO Yu.I.<sup>5</sup>, *Ass. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Machinery Operation and Repair, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [tnk1403@ukr.net](mailto:tnk1403@ukr.net), ORCIDID: 0000-0002-8568-4688

<sup>2</sup> Department of Machinery Operation and Repair, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [tatarchuk.olexandr@pgasa.dp.ua](mailto:tatarchuk.olexandr@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0003-2833-1330

<sup>3</sup> Department of Machinery Operation and Repair, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [zaiats.heorhii@pgasa.dp.ua](mailto:zaiats.heorhii@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0002-7405-7259

<sup>4</sup> Department of Machinery Operation and Repair, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [stadnyk.viktor@pgasa.dp.ua](mailto:stadnyk.viktor@pgasa.dp.ua), ORCIDID: 0000-0002-6507-6335

<sup>5</sup> Department of Machinery Operation and Repair, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-68, e-mail: [konovalenko.yurii@pgasa.dp.ua](mailto:konovalenko.yurii@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-8348-5581

**Abstract. Problem statement.** At present, there is a significant number of well-known methods and mathematical models to calculate the operating process of four-stroke internal-combustion engine. However, well-known models do not consider the effects of kinematics of engine, which has peculiarities at most of internal-combustion engines. Practically it does not allow to use well-known mathematical models of operating cycle and respectively to optimize the parameters of conrod-free internal-combustion engine. The model can be introduced as containing several submodels: the model of intake system (air cleaner, carburetor or butterfly throttle, inlet water pipe, cylinder head, intake valve); the model of cylinder (filling process, compression, combustion and extension); the model of exhaust system (exhaust valve,

exhaust water pipe, muffler). **The purpose of the article** – to offer the model of the cylinder and corrected methods of calculation of the operating cycle of engine, including as the base intake water pipe. **Conclusion.** According to the accuracy of calculations, the given mathematical model compares well with well-known programs but it is much easier, less laborious and demands less machine time. The model of parameters change of operating body in cylinder is used to calculate the processes of compression, filling, combustion and extension. The model of intake system allows to define the consumption of gases through exhaust valve according to current pressure in cylinder and average pressure in water pipe. The model allows to evaluate the actions directed to the optimization of the structure of engine and to increase its fuel efficiency.

**Keywords:** *conrod-free internal-combustion engine; cylinder model; operating cycle; fuel efficiency; optimization of the parameters of internal-combustion engine; model of intake system; model of exhaust system*

**Постанова проблеми.** Наразі існує багато відомих методик і математичних моделей для розрахунку робочого процесу чотиритактного ДВЗ. Однак відомі моделі не враховують впливу кінематики двигуна, що має свої особливості в більшості ДВЗ.

Усе це не дозволяє практично використати відомі математичні моделі робочого циклу двигуна й відповідно оптимізувати параметри безшатуного ДВЗ.

У статті пропонується уточнена методика розрахунку робочого циклу двигуна, що включає в основу модель впускного трубопроводу.

Модель двигуна можна навести складеною з декількох підмоделей:

- модель впускної системи (повітроочисник, карбюратор або дросельна заслінка, впускний трубопровід, головка циліндрів, впускний клапан);
- модель циліндра (процеси наповнення, стискання, згоряння й розширення);
- модель випускної системи (випускний клапан, випускний трубопровід, глушник).

У роботі запропоновано модель циліндра.

### Модель циліндра

Розглянемо розрахункову впускну систему (рис. 1), що складається із повітроочисника (на рисунку не зображено) і впускного трубопроводу 2, у якому розташовані дросельна заслінка 3 і дифузор 1. У двигуні із впорскуванням палива дифузор відсутній.

Виберемо в розглянутій впускній системі три характерні перерізи: переріз 0–0 вибираємо на достатній відстані від

вхідного отвору повітроочисника, де швидкість повітря може бути прийнята рівною нулю  $v_0 = 0$ , а тиск дорівнює атмосферному  $p_0$ ; переріз 1–1 приймаємо безпосередньо перед впускним клапаном, а переріз а–а розташовуємо в площині положення поршня в НМТ (наприкінці впуску).

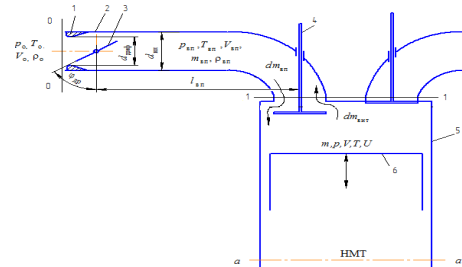


Рис. 1. Розрахункова модель впускної системи двигуна: 1 – дифузор; 2 – впускний трубопровід; 3 – дросельна заслінка; 4 – впускний клапан; 5 – циліндр; 6 – поршень / Fig. 1. The design model of the engine inlet system: 1 – diffuser; 2 – inlet pipeline; 3 – the throttle; 4 – inlet valve; 5 – cylinder; 6 – piston

При зробленому нами допущенні про нестисливість газу розрахунок параметрів свіжого заряду у впускній системі не буде відрізнятися від розрахунку параметрів для нестисливої рідини за відомими формулами гідравліки.

Процес впуску будемо розглядати в такій постановці. Спочатку визначаємо параметри потоку свіжого заряду  $p_{вп}$  і  $T_{вп}$  перед впускним клапаном (на вході в циліндр) у функції  $\varphi_{др}$  і  $n$ . Величини  $p_{вп}$  і  $T_{вп}$  являють собою середні (умовні) термодинамічні параметри у впускному трубопроводі в момент початку впуску.

Потім за відомими параметрами потоку перед впускним клапаном знаходимо термодинамічні параметри й масу суміші в циліндрі двигуна, застосувавши рівняння першого закону термодинаміки, рівняння

збереження маси, рівняння стану газу й рівняння теплообміну.

**Диференційне рівняння тиску в циліндрі.** У двигуні характер процесу наповнення циліндра свіжим зарядом і початок стискання визначаються кінематикою силового механізму, а також способами регулювання навантаження й ступеня стискання. На рисунку 2 показаний

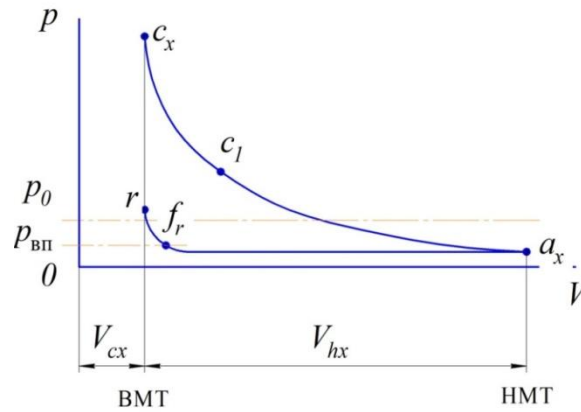


Рис. 2. Схема процесів наповнення-стискання двигуна:  $p_0, p_{вп}$  – тиск на вході у двигун і у впускному трубопроводі;  $V_{hx}$  – змінний робочий об’єм циліндра;  $V_{cx}$  – змінний об’єм камери згоряння; BMT, HMT – верхня і нижня мертві точки / Fig. 2. The scheme of processes of filling-compression of the engine:  $p_0, p_{вп}$  – pressure at the inlet to the engine and in the inlet pipeline;  $V_{hx}$  – variable cylinder displacement;  $V_{cx}$  – variable volume of the combustion chamber; BMT, HMT – are the upper and lower dead points

$$\frac{d}{d\varphi_1} p(\varphi_1) = \left[ \frac{k}{k-1} \left( \frac{p}{\rho(p)} \frac{dm(\varphi_1, p)}{d\varphi_1} - p \frac{dV(\varphi_1)}{d\varphi_1} \right) + \frac{dQ(\varphi_1, p)}{d\varphi_1} \right] \frac{k-1}{V(\varphi_1)}, \quad (1)$$

де  $p$  – поточний тиск у циліндрі на відповідній ділянці, Па;  $\varphi_1$  – кут повороту колінчастого вала, рад.;  $k$  – відношення теплоємностей газів на відповідній ділянці;  $\rho$  – поточна густина газів у циліндрі на відповідній ділянці, кг/м<sup>3</sup>;  $dm$  – масова елементарна витрата газів через впускний клапан на відповідній ділянці, кг/с;  $V$  – поточний об’єм циліндра залежно від кута  $\varphi_1$ ;  $dV$  – зміна об’єму робочого тіла в циліндрі, що визначається через об’єм  $V$ ;  $dQ$  – теплота, що характеризує теплообмін між робочим тілом і стінками надпоршневої порожнини.

Використовуючи єдиний осереднений коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{cp}$  як для поверхні дзеркала циліндра, так і для поверхонь днища поршня й головки циліндра, можна записати рівняння для осередненого по всій

процес наповнення й стискання для двигуна з класичним способом регулювання навантаження – дроселюванням.

На основі рівнянь збереження маси, балансу енергії і стану для ідеального газу одержано диференційне рівняння тиску в циліндрі залежно від кута повороту вала двигуна:

поверхні теплообміну:

$$dQ = \alpha_{cp} (T_{cp} - T) F_{ct} dt. \quad (2)$$

Середній коефіцієнт тепловіддачі для періоду газообміну визначається за перетвореною формулою Вошні [1], яка записана в припущенні, що швидкість суміші в циліндрі в процесі впуску в 2,5 рази більша за швидкість поршня:

$$\alpha_{cp} = 3,52 \cdot 10^3 p^{0,8} T^{-0,53} D^{-0,2} c_m^{0,8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (3)$$

де  $c_m$  – середня швидкість поршня, м/с;  $p$  – у МПа;  $T$  – у К;  $D$  – у м.

Середня температура поверхні внутрішньоциліндрового простору обчислюється за формулою [2]:

$$T_{cp} = \frac{1}{F_{ct}} (T_{ц} F_{ц} + T_{п} F_{п} + T_{кз} F_{кз}), \quad (3)$$

де  $F_{ct} = (F_{ц} + F_{п} + F_{кз})$  – сумарна площа поверхні теплоприймальних стінок, м<sup>2</sup>;  $T_{ц}$  – осереднена по поточній робочій поверхні циліндра й середня за цикл температура циліндра, К;  $F_{п}, F_{кз}$  – площа поверхні днища поршня й камери згоряння;

$F_{ц}$  – площа робочої поверхні (дзеркала циліндра) в розглянутий момент часу.

Осереднена температура  $T_{ц}$  по переміщенню поршня визначається за рівнянням:

$$T_{ц} = \frac{1}{\Delta\varphi_i} \int_0^{\varphi} T_{цн}(\varphi) d\varphi, \quad (4)$$

де  $\varphi$  – кут повороту колінчастого вала в град. п.к.в.;  $\Delta\varphi_i$  – тривалість (у градусах)  $i$ -го процесу циклу.

Як видно, величина  $T_{ц}$  являє собою середньоінтегральну температуру поверхні дзеркала циліндра при поточному робочому об'ємі циліндра.

Температура  $T_{цн}$  по висоті дзеркала циліндра істотно змінюється: від 60 до 190 К. У розглянутій моделі враховується розподіл температури по висоті циліндра (по ходу поршня). Температура  $T_{цн}$  визначається за емпіричною формулою, отриманою шляхом апроксимації експериментальних даних [3]:

$$T_{цн} = T_{вмт} - (T_{вмт} - T_{нмт})(\bar{s}(\varphi))^z, \quad (5)$$

де  $T_{вмт}$  – температура стінки циліндра в районі верхньої мертвої точки;  $T_{нмт}$  – температура стінки циліндра в районі нижньої мертвої точки;  $z$  – емпіричний показник степеня. Приймається згідно з емпіричними даними рівним 2,8;  $\bar{s}$  – відносне переміщення поршня.

Передбачаючи, що камера згоряння мас циліндричну форму, а днище поршня – плоске, можна записати:

$$F_{ст} = \pi D \left( s + \frac{S_x}{\epsilon_x - 1} + \frac{D}{2} \right), \quad (6)$$

де  $\epsilon_x$  – у загальному випадку змінний ступінь стискання.

Тоді

$$T_{cp} = \frac{T_{цс} + T_{кз} \frac{S_x}{\epsilon_x - 1} + \frac{D}{4} (T_{п} + T_{кз})}{s + \frac{S_x}{\epsilon_x - 1} + \frac{D}{2}}. \quad (7)$$

Масова секундна витрата продуктів згоряння, залишкових газів і свіжого заряду через розрахунковий впускний клапан визначається за рівнянням витрати газу Сен-

Венана за постійного тиску на впуску  $p_{вп}$  із урахуванням взаємозв'язку між кутом  $\varphi$  повороту колінчастого вала й часом  $t$ :  $d\varphi = \omega dt$  (де  $n$  – частота обертання вала,  $\text{хв}^{-1}$ ):

$$dm_{вп} = \mu_{вп} f_{вп} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_{вп} \rho_{вп} \left[ \left( \frac{p}{p_{вп}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p}{p_{вп}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} d\varphi$$

при  $p \leq p_{вп}$ ,  
 $p / p_{вп} > \beta_{кр}$ ; (8)

$$dm_{ввт} = -\mu_{вп} f_{вп} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p p \left[ \left( \frac{p_{вп}}{p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_{вп}}{p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} d\varphi$$

при  $p > p_{вп}$ ,  
 $p_{вп} / p > \beta_{кр}$ . (9)

$$dm_{ввткр} = -\mu_{вп} f_{вп} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p p \left[ \left( \beta_{кр} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \beta_{кр} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} d\varphi$$

при  $p \geq p_{вп}$ ,  
 $p_{вп} / p > \beta_{кр}$ ; (10)

$$dm_{впкр} = \mu_{вп} f_{вп} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_{вп} \rho_{вп} \left[ \left( \beta_{кр} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \beta_{кр} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} d\varphi$$

при  $p < p_{вп}$ ,  
 $p / p_{вп} > \beta_{кр}$ ; (11)

де  $\mu_{вп}$  – коефіцієнт витрати, що визначається експериментально шляхом статичної продувки;

$f_{вп}$  – поточний прохідний перетин розрахункового впускного клапана;

$\beta_{кр}$  – критичне відношення тисків.

У математичній моделі прийнято вважати, що впускний розрахунковий клапан відкритий в період руху поршня від ВМТ до НМТ (рис. 3) і закон зміни його прохідного перетину виражається за формулою:

$$f_{вп} = f_{впmax} z \sin \varphi \quad (12)$$

де  $(f_{впmax} z)$  – максимальний прохідний переріз розрахункового клапана;  $z$  – коефіцієнт «стискання» або «розтягання» синусоїди у вертикальному напрямку.

Величина  $z$  визначається з умови рівності пропускної здатності розрахункового й реального впускних клапанів:

$$\int_{\varphi_a}^{\varphi_b} f_{вп}(\varphi) d\varphi = \int_{\varphi_c}^{\varphi_d} f_{кл}(\varphi) d\varphi, \quad (13)$$

де  $\varphi_a$ ,  $\varphi_b$  і  $\varphi_c$ ,  $\varphi_d$  – моменти відкриття й закриття клапанів відповідно розрахункового й дійсного.

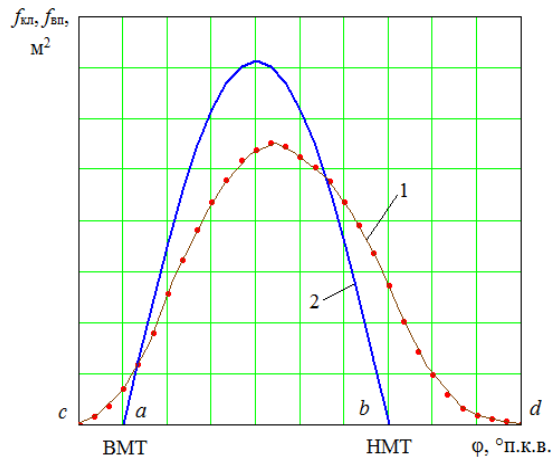


Рис. 3. Зміна прохідних перерізів дійсного впускного клапана  $f_{кл}$  (1) і розрахункового впускного клапана  $f_{вп}$  (2) залежно від кута  $\varphi$  повороту колінчастого вала / Fig. 3. Changing the cross sections of the actual inlet valve  $f_{кл}$  (1) and the calculated inlet valve  $f_{вп}$  (2) depending on the angle  $\varphi$  of rotation of the crankshaft

**Процес впуску** розглядається складеним із двох ділянок.

У початковий момент переміщення поршня от ВМТ на такті впуску для випадку коли тиск у циліндрі  $p > p_{вп}$ , ділянка  $r - f_r$ , продукти згоряння і залишкові гази тільки витікають із циліндра у впускний трубопровід. При цьому температура суміші газів визначається за рівнянням адіабатного процесу:

$$T = T_r \left( \frac{p}{p_r} \right)^{\frac{k_r-1}{k_r}}, \quad (14)$$

де  $p_r$ ,  $T_r$  – тиск і температура у циліндрі на початку процесу впуску;  $p$ ,  $T$  – поточний тиск і температура у циліндрі;  $k_r$  – показник адіабати в процесі витікання суміші газів.

Величина  $k_r$  визначається залежно від температури суміші в циліндрі й коефіцієнта надміру повітря.

На ділянці  $f_r - a_x$  відбувається власне процес впуску свіжого заряду, коли  $p < p_{вп}$ . Температура суміші газів у циліндрі в цей момент визначається за рівнянням змішання:

$$T = \frac{T_{fr} m_{fr} + T_{вп} m_{вп}}{m_{fr} + m_{вп}}, \quad (15)$$

де  $T_{fr}$ ,  $m_{fr}$  – температура і маса суміші газів у

циліндрі в кінці першої ділянки  $r - f_r$ ;  $m_{вп}$  – поточна маса суміші газів у циліндрі:

$$m_{вп} = \int_{\varphi_{1,fr}}^{\varphi_1} dm_{вп} d\varphi_1 \quad (16)$$

**Параметри процесів стискування, згоряння і розширення.** Поточні значення параметрів цих процесів визначаються за допомогою математичної моделі, розробленої на кафедрі експлуатації та ремонту машин ДВНЗ ПДАБА за участю авторів цієї статті. Тому це питання доцільно розглянути коротко.

**Процес стискування** починається при положенні поршня в НМТ і відповідає точці  $a_x$  (рис. 2), а закінчується в момент подачі іскри (точка  $c_1$ ).

У процесі стискування зміна маси робочої суміші не відбувається. Тоді поточне значення тиску суміші на ділянці  $a_x - c_1$  визначається із диференційного рівняння (1) за умовою  $dm = 0$ .

Температура у процесі стискування визначається із рівняння стану для ідеального газу.

**Процес згоряння** в математичній моделі визначається методом І. І. Вібе [4] періодом від моменту подачі іскри (кута випередження запалювання  $\Theta$ ) до моменту, який відповідає згорянню частки палива  $X_z$ .

У розрахунках часто приймають межу завершення процесу згоряння  $X_z = 0,999$  згідно з рекомендацією І. І. Вібе [4].

Кут випередження запалювання  $\Theta$  для класичного ДВЗ звичайно відомий із його експериментальних характеристик. В математичній моделі для наново спроектованого двигуна оптимальний кут випередження запалювання визначається на базі експериментальних даних існуючих двигунів із коректуванням по тривалості згоряння, яка відповідає оптимальному згорянню в районі ВМТ. У проведенні розрахунків кут  $\Theta$  визначається залежно від частоти обертання колінчастого вала, навантаження і коефіцієнта надміру повітря за експериментально одержаними формулами.

Проведений аналіз літературних джерел [4] свідчить, що тривалість згоряння  $\phi_{1z}$  суттєво залежить від багатьох факторів, таких як форма камери згоряння, склад горючої суміші, ступінь стиснення, турбулізація заряду, відношення  $S/D$  і т. ін. Тривалість згоряння змінюється в значних межах: від 22 до 65° п. к. в. Під час моделювання процесу згоряння величина  $\phi_{1z}$  попередньо розраховувалася залежно від частоти обертання  $n$  і тиску  $p_{c1}$ .

Температура в процесі згоряння визначається за запропонованою формулою:

$$\frac{d}{d\phi_1} T_{cr} = (k_{cr} - 1) \left[ \frac{1}{R_{\mu} M_{cr}} (Hu_{cr} g_{тн} dX - dQ_{cr} - dQ_{дис}) - T_{cr} \frac{dV}{V} \right], \quad (17)$$

де  $g_{тн}$  – циклова доза палива;  $M_{cr}$  – кількість молів робочого тіла, що беруть участь у згорянні;  $Q_{cr}$  – теплота, що відводиться у стінки циліндра;  $Q_{дис}$  – теплота, що втрачається на дисоціацію молекул;  $T_{cr}$  – поточна температура робочого тіла в процесі згоряння;  $dX$  – частка палива, що умовно згоріла за час  $d\phi_1$  (розраховується методом І. І. Вібе);  $R_{\mu}$  – універсальна газова стала;  $Hu_{cr}$  – активна теплота згоряння;  $k_{cr}$  – показник адіабати для продуктів згоряння, визначається за відомою формулою І. І. Вібе.

Циклова доза палива:

$$g_{тн} = \frac{m_{впак}}{\alpha \cdot l_0 + 1}$$

Маса свіжого заряду наприкінці впуску:

$$m_{впак} = m_{вп(\phi_{1ax})}$$

Для розв'язання диференційного рівняння (17) використовується метод Рунге–Кутта 4-го порядку.

Поточний тиск у процесі згоряння обчислюється за рівнянням стану для ідеального газу одночасно з визначенням температури  $T_{cr}$ :

$$p_{cr} = \frac{m_{cr} R_{cr} T_{cr}}{V} \quad (18)$$

У ДВЗ втрати тепла від дисоціації не перевищують 7 % [6–8].

**Процес розширення** відбувається за постійно кількості газів у циліндрі двигуна. Тоді поточний тиск можна розраховувати за залежністю (1) при  $dm = 0$ .

Температура визначається із рівняння стану для ідеального газу.

**Процес випуску** починається в момент відкриття випускного клапана. До приходу поршня в НМТ тиск знижується за рахунок вільного витікання продуктів згоряння і збільшення об'єму циліндра. У цей період мають місце як критичний, так і докритичний режими витікання газів залежно від відношення тисків  $p_{вт}/p_T$  (де  $p_{вт}$  – тиск у випускному трубопроводі за випускним клапаном,  $p_T$  – поточний тиск у циліндрі). Після НМТ гази з циліндра витікають під власним тиском і в результаті виштовхувальної дії поршня під час його руху до ВМТ. Тут також можуть мати місце два режими витікання.

Поточний тиск у циліндрі в процесі випуску розраховується за диференціальним рівнянням (1), в якому масова елементарна витрата відпрацьованих газів  $dm$  через випускний клапан визначається за рівнянням витрати газу Сен-Венана за постійного тиску на випуску.

### Висновки

1. Математична модель робочого процесу двигуна розглядається такою, що складається із трьох власне моделей: модель впускної системи, модель циліндра й модель випускної системи. За такого модульного принципу кожна із цих моделей може бути

легко змінена для поліпшення відповідності фізиці описуваного робочого процесу двигуна, а також під'єднана до іншої моделі, наприклад, механічних втрат.

Модель впускної системи заснована на рівняннях втрат тиску в елементах впускної системи. Модель зміни параметрів робочого тіла в циліндрі використовується для розрахунку процесів наповнення, стискання, згорання й розширення.

Модель впускної системи дозволяє визначати витрату відпрацьованих газів через впускний клапан за поточним тиском у циліндрі й середнім тиском у впускному трубопроводі.

2. Зміна параметрів робочого тіла в процесах впуску й випуску описується системою диференціальних рівнянь, що засновані на першому законі термодинаміки змінної маси. Процеси стискання й розширення описуються диференціальними рівняннями для постійної маси робочого тіла. Процес згорання розраховується

методом І. І. Вібе. При цьому вхідні в рівняння Вібе «показник характеру згорання»  $m_{cr}$  і «тривалість згорання»  $\varphi_z$  визначаються за запропонованими емпіричними формулами залежно від тиску в момент запалювання, частоти обертання колінчастого вала й кінематики силового механізму.

Поточна температура згорання описується запропонованим диференціальним рівнянням (17). Диференціальні рівняння одержують розв'язок на ПЕОМ числовим методом інтегрування Рунге-Кутта 4-го порядку.

3. За точністю розрахунків ця математична модель не поступається відомим програмам, але значно простіша, менш трудомістка й вимагає меншого машинного часу. Модель дозволяє оцінювати заходи, направлені на оптимізацію конструкції двигуна й підвищення його паливної економічності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Woschni G. Beitrag zum Problem des Warmetiberganges in Verbrennungsmotor // MTZ. – 1965. – IV. – 132 p.
2. Техническая термодинамика и теплопередача : монография / [А. Г. Головинцов, Б. Н. Юдаев, Е. И. Федотов]. – Москва : Машиностроение, 1970. – 295 с.
3. Науково-технічні основи створення нетрадиційних малопотужних двигунів внутрішнього згорання з високими економічними і екологічними показниками : автореф. дис. доктора техн. наук / [Міщенко М. І]. УТУ. – Київ, 1999. – 32 с.
4. Вібе І. І. Новое о рабочем цикле двигателей : монография / [И. И. Вибей]. – Свердловск : Машгиз, 1962. – 271 с.
5. Міщенко М. І. Моделювання та дослідження робочого циклу бензинового двигуна. Ч. 1. Математична модель / М. І. Міщенко, В. Г. Заренбін, Т. М. Колеснікова, Ю. В. Юрченко, О. В. Савченко // Двигатели внутреннего сгорания : всеукр. науч.-техн. журн. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2010. – № 1. – С. 35–39.
6. Основы теории и конструирования автотракторных двигателей в 2-х частях. Ч.1 Теория автомобильных и тракторных двигателей : монография / [М. Д. Артамонов, М. М. Морин]. – Москва : Высшая школа, 1973. – 205 с.
7. Автомобільні двигуни : підруч. / [Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. С. Долганов та ін.]. – Київ : Арістей, 2007. – 476 с.
8. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособ. для вузов / [А. И. Колчин, В. П. Демидов]. – Москва : Высш. школа, 2003. – 496 с.

## REFERENCES

1. Woschni G. *Contribution to the problem of heat transfer in internal combustion engine*. MTZ, 1965, IV, 132 p. (in German).
2. Golovintsov A.G., Yudaev B.N. and Fedotov E.I. *Technical thermodynamics and heat transfer* [Technical thermodynamics and heat transfer]. *Mashinostroyeniye* [Mechanical Engineering]. Moscow, 1970, 295 p. (in Russian).
3. Mishchenko M.I. *Naukovo-tekhnichni osnovy stvorenniya netradytsiynikh malopotuzhnykh dvyhuniv vnutrishn'oho z-horyannya z vysokymy ekonomichnymy i ekolohichnymy pokaznykamy : Avtoref. dys. doktora tekhn. nauk* [Scientific and technical bases of creation of unconventional low-power internal combustion engines with high economic and environmental indicators : Author's abstract. diss. Doctor of Engineering Sciences]. UTU, Kyiv, 1999,

32 p. (in Ukrainian).

4. Vibe I.I. *Novoye o rabochem tsikle dvigateley* [New about the working cycle of engines]. Sverdlovsk : Mashgiz, 1962, 271 p. (in Russian).
5. Mishchenko M.I., Zarenbin V.G., Kolesnikova T.M., Yurchenko Yu.V. and Savchenko O.V. *Modelyuvannya ta doslidzhennya robochoho tsyклу benzynovoho dvyhuna. Chastyna 1. Matematychna model'* [Modeling and study of the duty cycle of a gasoline engine. Part 1. The mathematical model]. *Dvyhately vnutrenneho s-horanyya : Vseukrayn'skyi nauchno-tekhnycheskyi zhurnal* [Engines of internal combustion : All-Ukrainian Scient. and Techn. J.]. Kharkiv : NTU "KPI", 2010, no. 1, pp. 35–39. (in Ukrainian).
6. Artamonov M.D. and Morin M.M. *Osnovy teorii i konstruirovaniya avtotraktornikh dvigateley v 2-kh chastyakh. CH.1 Teoriya avtomobil'nykh i traktornikh dvigateley* [Fundamentals of the theory and design of automotive engines in 2 parts. Part 1 Theory of automobile and tractor engines]. Moscow : Higher School, 1973, 205 p. (in Russian).
7. Abramchuk F.I., Gutarevich Yu.F., Dolganov K.E. and oth. *Avtomobil'ni dvyhuny : pidruchnyk* [Car engines : textbook]. Kyiv : Aristey, 2007, 476 p. (in Ukrainian).
8. Kolchin A.I. and Demidov V.P. *Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley : ucheb. posobiye dlya vuzov* [Calculation of automobile and tractor engines : textbook. manual for universities]. Moscow : Higher School, 2003, 496 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 13.07.2019 р.



УДК 691.17; 699.844.1

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.58.511

## ВПЛИВ ЩІЛЬНОСТІ ПАНЕЛІ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГУМОВОЇ КРИХТИ НА ПОКАЗНИК ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ

ПОПОВ О. О.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.,

ГОСТРИК А. М.<sup>2\*</sup>, аспір.,

ЦРНОЯ А.<sup>3</sup>, аспір.

<sup>1</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (067) 300-41-09, e-mail: [oleg.a.popov@gmail.com](mailto:oleg.a.popov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4021-5199

<sup>2\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (068) 274-03-83, e-mail: [anna.hostryk@gmail.com](mailto:anna.hostryk@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-1638-0912

<sup>3</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (067) 300-41-09, e-mail: [crnoja.doo@gmail.com](mailto:crnoja.doo@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-9557-9411

**Анотація. Постановка проблеми.** Сьогодні дуже важлива проблема повторного застосування матеріалів. Одним із таких прикладів застосування відходів використаних автомобільних шин – гума крихта. Найбільше її застосовують у дорожньому будівництві, для благоустрою території спортивних майданчиків, у ремонті мостів та трубопроводів, тому актуальним постає визначення можливості застосування цього матеріалу в сучасному будівництві. Рециркульована гума панель являє собою високоефективний звукоізоляційний матеріал із відносно хорошими механічними властивостями. Ці властивості дозволяють використовувати його в різних легких конструкціях як матеріал, що підсилює структурну звукоізоляцію і зменшує вібрацію. Стаття присвячена питанню підвищення показника звукоізоляції в стінових конструкціях панельного типу, виготовлених із застосуванням гумової крихти. Адже один із найважливіших критеріїв оцінювання якості під час проектування житлових будівель – це забезпечення мешканців акустично комфортними умовами. Для вирішення проблеми проведено аналіз впливу щільності панелі на значення індексу звукоізоляції. Проілюстровано структуру установки звукоізоляційних панелей під час проведення експерименту. Результати визначення рівня звукоізоляції залежно від показника щільності панелей, виготовлених із застосуванням гумової крихти, порівняні та наведені на діаграмах для кожної групи окремо. **Мета статті** – проаналізувати властивості гумової крихти та можливості застосування в будівництві, а також дослідити вплив щільності панелей, виготовлених із застосуванням цього матеріалу, на величину загальної звукоізоляції конструкції. **Висновок.** На основі результатів експерименту та даних вимірювань зроблено висновок, що щільність значно впливає на показник звукоізоляції. Зі збільшенням щільності поліпшуються звукоізоляційні властивості стінової конструкції.

**Ключові слова:** звукоізоляція; гума крихта; індекс звукоізоляції; стінова панель; діапазон частот

## ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПАНЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

ПОПОВ О. А.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.,

ГОСТРИК А. Н.<sup>2\*</sup>, аспір.,

ЦРНОЯ А.<sup>3</sup>, аспір.

<sup>1</sup> Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (067) 300-41-09, e-mail: [oleg.a.popov@gmail.com](mailto:oleg.a.popov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4021-5199

<sup>2\*</sup> Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (068) 274-03-83, e-mail: [anna.hostryk@gmail.com](mailto:anna.hostryk@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-1638-0912

<sup>3</sup> Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (067) 300-41-09, e-mail: [crnoja.doo@gmail.com](mailto:crnoja.doo@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-9557-9411

**Аннотация. Постановка проблемы.** Сегодня важной является проблема повторного применения материалов. Одним из таких примеров применения отходов использованных автомобильных шин является резиновая крошка. Наибольшее применение она получила в дорожном строительстве, в благоустройстве территорий спортивных площадок, при ремонте мостов и трубопроводов, поэтому актуальным является определение возможности применения этого материала в современном строительстве. Рециркулированная резиновая панель представляет собой высокоэффективный звукоизоляционный материал с относительно хорошими механическими свойствами. Эти свойства позволяют использовать его в различных легких

конструкциях в качестве материала, который усиливает структурную звукоизоляцию и уменьшает вибрацию. Статья посвящена вопросу повышения показателя звукоизоляции в стеновых конструкциях панельного типа, изготовленных с применением резиновой крошки. Ведь одним из важнейших критериев оценки качества при проектировании жилых зданий является обеспечение жителей акустически комфортными условиями. Для решения проблемы проведен анализ влияния плотности панели на значение индекса звукоизоляции. Проиллюстрирована структура установки звукоизоляционных панелей во время проведения эксперимента. Результаты определения уровня звукоизоляции в зависимости от показателя плотности панели, изготовленной с применением резиновой крошки, сравнены и представлены на диаграммах для каждой группы отдельно. **Цель статьи** – проанализировать свойства резиновой крошки и возможности применения в строительстве, а также исследовать влияние плотности панелей, изготовленных с применением этого материала, на величину общей звукоизоляции конструкции. **Вывод.** На основе полученных результатов проведенного эксперимента и данных измерений сделан вывод, что плотность значительно влияет на показатель звукоизоляции. С увеличением плотности увеличиваются звукоизоляционные свойства стеновой конструкции.

**Ключевые слова:** звукоизоляция; резиновая крошка; индекс звукоизоляции; стеновая панель; диапазон частот

## EFFECT OF PANEL DENSITY WITH THE APPLICATION OF RUBBER CRUMB ON THE SOUND INSULATION INDICATOR

POPOV O.O.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

HOSTRYK A.M.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Student*,

TSRNOYA A.<sup>3</sup>, *Postgrad. Student*

<sup>1</sup> Department of the Building Construction Technology, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrikhsona Str., 65029, Odesa, Ukraine, tel. +38 (067) 300-41-09, e-mail: [oleg.a.popov@gmail.com](mailto:oleg.a.popov@gmail.com), ORCID ID: [0000-0003-4021-5199](https://orcid.org/0000-0003-4021-5199)

<sup>2\*</sup> Department of the Building Construction Technology, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrikhsona Str., 65029, Odesa, Ukraine, tel. +38 (068) 274-03-83, e-mail: [anna.hostryk@gmail.com](mailto:anna.hostryk@gmail.com), ORCID ID: [0000-0002-1638-0912](https://orcid.org/0000-0002-1638-0912)

<sup>3</sup> Department of the Building Construction Technology, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrikhsona Str., 65029, Odesa, Ukraine, tel. +38 (067) 300-41-09, e-mail: [crnoja.doo@gmail.com](mailto:crnoja.doo@gmail.com), ORCID ID: [0000-0001-9557-9411](https://orcid.org/0000-0001-9557-9411)

**Abstract. Problem statement.** Today the problem of reuse of materials is important. One of such waste used car tires is crumb rubber. It has received the greatest application in road construction, for the improvement of the territories of sports playgrounds, in the repair of bridges and pipelines, therefore it is relevant to determine the possibility of using this material in modern construction. Recycled rubber panel is a highly efficient sound insulation material with relatively good mechanical properties. These properties allow it to use in a variety of lightweight structures as a material that enhances structural sound insulation and reduces vibration. The article is devoted to the issue of increasing the level of sound insulation in wall structures of panel type, made with the use of crumb rubber. Indeed, one of the most important criteria for assessing quality in the design of residential buildings is to provide residents with acoustically comfortable conditions. To solve the problem, an analysis of the effect of panel density on the sound insulation index value was carried out. The installation structure of soundproof panels during the experiment is illustrated. The results of determining the level of sound insulation depending on the density of the panel made using crumb rubber were compared and presented in diagrams for each group separately. **The purpose of the article** is to analyze the properties of crumb rubber and the possibility of using it in construction, as well as to investigate the effect of the density of panels made with the use of this material on the magnitude of the overall sound insulation of the structure. **Conclusion.** Based on the obtained results of the experiment and measurement data, it was concluded that the density significantly affects the sound insulation index. With increasing density, the sound insulation properties of the wall structure increase.

**Keywords:** sound insulation; crumb rubber; sound insulation index; wall panel; frequency range

**Постановка проблеми.** Щоденне використання транспортного обладнання і стрімке щорічне зростання його кількості викликають серйозні екологічні проблеми. Елемент автомобільного засобу, який найбільш негативно впливає на навколишнє середовище, – це гума шин. Для зниження такого впливу необхідна переробка відходів. Технологічні методи переробки відносно прості і дешеві, а сировина легкодоступна. Однак актуальним

залишається питання застосування такого продукту в більш широкому спектрі галузей виробництва.

Панелі з додаванням гумової крихти можуть бути використані як невід'ємна частина конструкції для поліпшення звукоізоляційних властивостей. Проблема звукоізоляції легких міжкімнатних стін та перегородок пов'язана з вібрацією шару їх облицювання, який передає коливальні рухи безпосередньо в конструкцію.

Звукоізоляція огорожувальних і внутрішньоквартирних конструкцій регламентується низкою будівельних норм і правил [1–4]. Однак навіть за умови виконання нормативних вимог, у деяких випадках, спостерігається акустичний дискомфорт [5].

**Мета** експериментів – аналіз можливості застосування гумової крихти як одного з продуктів переробки шин у будівництві, а також вивчення впливу щільності панелей, виготовлених із застосуванням цього матеріалу, на показник загальної звукоізоляції конструкції.

**Виклад матеріалу.** Досліджено вплив зміни щільності за константних величин гранулометричного складу. Для порівняння відібрано 9 зразків, які залежно від ряду факторів поділялися на 3 групи.

Перша група характеризувалася товщиною зразка рівною 10 мм, з гранулометричним складом зерна розміром 0,5...2,0 мм і змінною щільністю, яка варіювалася від 700 до 1 110 кг/м<sup>3</sup>.

Друга група – товщина зразка 15 мм, гранулометричний склад – 0,5...2,0 мм, із щільністю, яка була змінною в діапазоні від 600 до 916 кг/м<sup>3</sup>.

До третьої групи належали зразки товщиною 20 мм з аналогічним гранулометричним складом з розміром зерна 0,5...2,0 мм і змінною щільністю від 585 до 915 кг/м<sup>3</sup>.

Разом із цим вимірювання звукоізоляції проводилося для різних діапазонів частот: низькі (до 500 Гц), середні (500–2 000 Гц) і високі (2 000–5 000 Гц).

Експеримент здійснювали відповідно до нормативних вимог стандарту HRN EN ISO 717-1:2013 [1]. Цей нормативний документ регламентує оцінку звукоізоляції в різних конструктивних елементах будівель, враховує зовнішні і внутрішні джерела шуму та містить методи, що визначають результати вимірювань і їх перетворення на значення звукоізоляції будівельного елемента, виражене одним числом.

Експеримент проводився в Лабораторії будівельної фізики та акустичних випробувань Хорватського інституту

будівництва (IGH). Приймальна кімната була повністю відокремлена від кімнати, де містилося джерело звуку. Проріз у стіні, що розділяв кімнати, призначений для випробування звукоізоляційних властивостей вікон і дверей. Зразки вбудовувалися в коробку, подібну до віконного блока, площею 0,75 м<sup>2</sup>.

Значення звукоізоляції перегородки між кімнатою приймача і кімнатою передавача становить приблизно 75 дБ. Згідно з нормативним документом [1] необхідно, щоб значення звукоізоляції за рахунок досліджуваного зразка відрізнялося не менше ніж на 1 дБ.

Для забезпечення повного розділення передавача і приймальної кімнати та запобігання будь-якої можливої передачі звуку чи звукових коливань, виникнення звукових містків, конструкції лабораторії були зведені без взаємопов'язаних елементів, всі стики мали повітропроникність, яка не перевищує нормативних вимог.

Панелі, що використовувалися в експерименті, були виготовлені компанією Gumi Imprex [6] (м. Вараждин, Хорватія) на заводі з переробки автомобільних шин. З урахуванням обладнання заводу та деяких технологічних рішень вони можуть виготовлятися різної товщини.

Обрана товщина зразків становить 10, 15 і 20 мм, що стало першим змінним фактором дослідження. Другий фактор, що варіюється, – маса зразків, які поділяються на чотири основні групи: 600 кг/м<sup>3</sup>, близько 700 кг/м<sup>3</sup>, близько 900 кг/м<sup>3</sup> і близько 1 110 кг/м<sup>3</sup>.

Джерело звуку має декілька положень, в які вона поміщається під час вимірювання, в той час як мікрофон міститься на поворотній підставці і його положення незмінне.

Звуковий приймач являв собою мікрофон на спеціальній підставці, яка обертається в декількох площинах і повністю акумулює звук, що надходить від передавача (рис. 4–6).

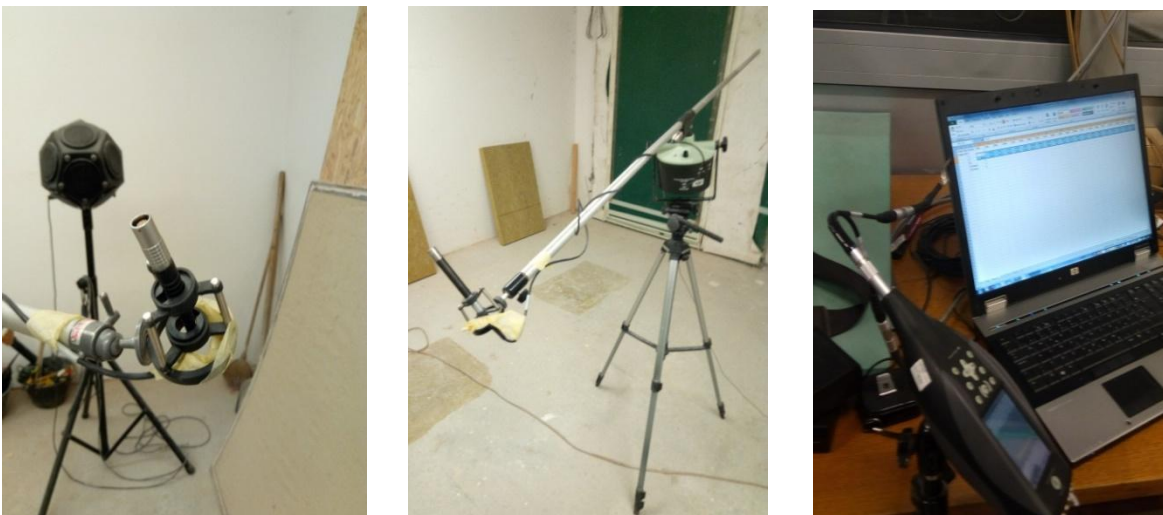
Вимірювання відбувалося таким чином, що звукова потужність близько 105 дБ

випромінювалася протягом 60 секунд у два етапи. Стационарний шум близько 105 дБ

випромінює незбалансоване джерело звуку протягом 1 хвилини.



*Рис. 1, 2, 3. Установка звукоізоляційних панелей під час проведення експерименту /  
Fig. 1, 2, 3. Installation of soundproof panels during the experiment*



*Рис. 4, 5, 6. Приймач і передавач звуку / Fig. 4, 5, 6. Audio receiver and transmitter*

Вимірювання повторювалося двічі для кожного зразка. Комп'ютерна обробка даних фіксує значення звукоізоляції на заданих частотах та, як результат, видає остаточне значення звукоізоляції панелі відносно звуку антени.

Порівняння таких властивостей як зміна щільності відносно фактора стабільного гранулометричного складу і змінної товщини панелі може дати відомості про вплив питомої маси на показник звукоізоляції перегородки та рекомендації щодо подальших випробувань.

Для порівняння ідентифіковано 9 зразків, розділених на 3 групи, де постійним параметром був гранулометричний склад. Змінною для груп була товщина зразка, а для всіх зразків змінним фактором була щільність матеріалу.

У таблицях 1–3 показана комбінація зразків із фіксованими і змінними факторами.

Результати експериментів визначення рівня звукоізоляції наведені для кожної групи окремо на діаграмах (рис. 7–9).

На них відображена залежність між

індексом значень звукової ізоляції для кожної з досліджуваних панелей. Графічно і візуально ми можемо відстежувати зміни, пов'язані зі значенням індексу звукоізоляції конкретного зразка, і порівнювати його з контрольною кривою. На підставі спостережень можна зробити висновки або подальші керівні принципи дослідження.

Таблиця 1

**Група зразків № 1 / The sample group no. 1**

№ п/п	Товщина (мм)	Маса (кг/м <sup>3</sup> )	Гранулометричний склад
1.	10	700	05...20
4.	10	900	05...20
7.	10	1 110	05...20

Таблиця 2

**Група зразків № 2 / The sample group no. 2**

№ п/п	Товщина (мм)	Маса (кг/м <sup>3</sup> )	Гранулометричний склад
10.	15	600	05...20
13.	15	750	05...20
16.	15	916	05...20

Таблиця 3

**Група зразків № 3 / The sample group no. 3**

№ п/п	Товщина (мм)	Маса (кг/м <sup>3</sup> )	Гранулометричний склад
19.	20	585	05...20
22.	20	750	05...20
25.	20	915	05...20

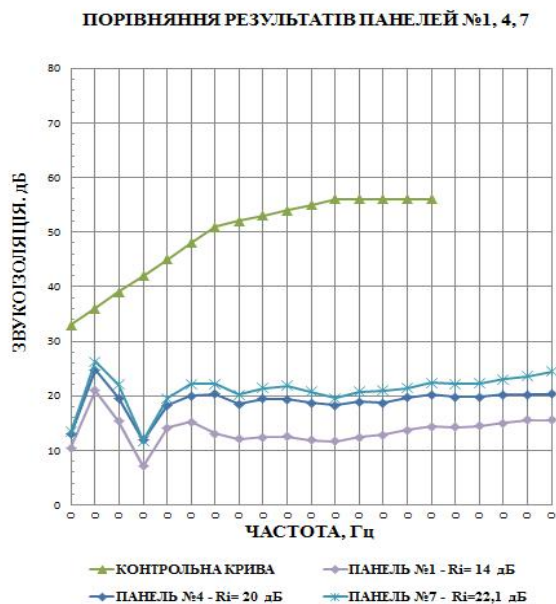


Рис. 7. Група зразків №1 / Fig. 7. The sample group no. 1

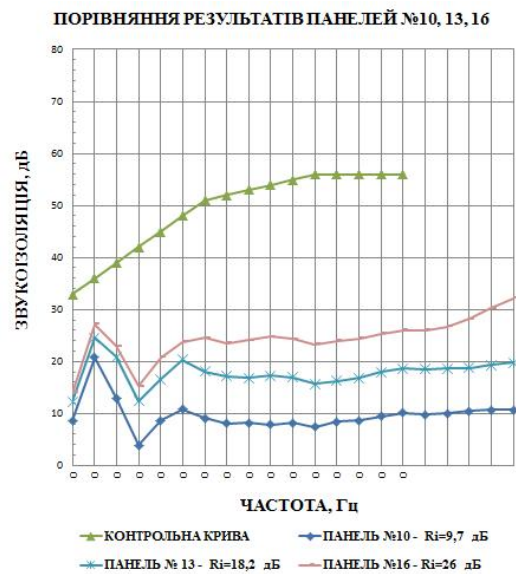


Рис. 8. Група зразків № 2 / Fig. 8. The sample group no. 2

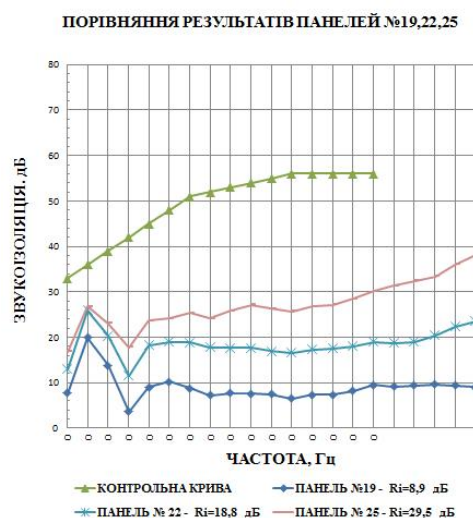
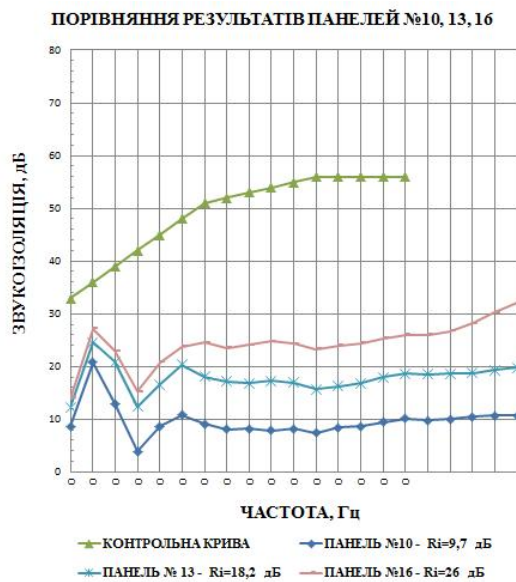


Рис. 9. Група зразків № 3 / Fig. 9. The sample group no. 3

**Аналіз результатів.** Результати випробувань дозволили провести аналіз зміни показників звукоізоляції по відносно зміни певних параметрів. А саме, як змінювався показник звукоізоляції за різної товщині зразка з постійним гранулометричним складом, і щільністю, яка варіювалася в різних групах і зразках.

Перша група – три зразки товщиною 10 мм, гранулометричним складом 0,5...2,0 мм і з різною щільністю: зразок № 1 – 700 кг/м<sup>3</sup>, зразок № 4 – 900 кг/м<sup>3</sup> і зразок № 7 – 1 110 кг/м<sup>3</sup>.

Ми можемо бачити, що зразки 4 і 7 мають дуже схожий індекс звукоізоляції (криві вимірювання дуже близькі), в той час як зразок 1 знаходиться значно нижче.

Проаналізувавши більш докладно результати в різних діапазонах частот, можна зробити такі висновки:

- у низькочастотному діапазоні панель 7 володіє кращими звукоізоляційними властивостями, за винятком частоти 100 Гц, де значення звукоізоляції нижче на 0,1 Гц, ніж у панелі 4, а середня звукоізоляція панелі 7 на 7,08 % краща, ніж у панелі 4. Панель 1 має в середньому менше значення звукоізоляції на 38,35 %, ніж панель 4, і на 47,96 % порівняно з панеллю 7;

- у середньочастотному діапазоні панель 7 має кращі звукоізоляційні властивості і на 10,45 % кращу звукоізоляцію порівняно з панеллю 4. Панель 1 має в середньому менше звукоізоляційне значення на 49,64 %, ніж панель 4, на 65,24 % порівняно з панеллю 7;

- у високочастотній смузі панель 7 має кращі звукоізоляційні властивості і звукоізоляція панелі на 15,88 % вища порівняно з панеллю 4. Панель 1 має в середньому менше значення звукоізоляції на 32,92 %, ніж панель 4 та на 53,96 % порівняно з панеллю 7.

Друга група складається з трьох зразків товщиною 15 мм, гранулометричним складом від 0,5 до 2,0 мм і різною щільністю: зразок № 10 – 600 кг/м<sup>3</sup>, зразок № 13 – 750 кг/м<sup>3</sup> і зразок № 16 – 916 кг/м<sup>3</sup>.

Загальний результат показує однакову різницю між зразками 10 і 13 і зразками 13 і

16. Варто зазначити, що є аналогічна різниця в об'ємній вазі між зразками 10 і 13 та зразками 13 і 16.

Проаналізувавши більш докладно результати в різних діапазонах частот, можна зробити такі висновки:

- у низькочастотній смузі панель 16 володіє кращими звукоізоляційними властивостями і на 21,54 % кращою звукоізоляцією, ніж панель 13. Звукоізоляція панелі 10 має більш низьке значення – 91,65 % порівняно з панеллю 13, і на 135,68 % порівняно з панеллю 7;

- у середньочастотній смузі панель 16 має кращі звукоізоляційні властивості і на 43,51% кращу звукоізоляцію порівняно з панеллю 10. Панель 10 має значення звукоізоляції нижче на 99,44 % порівняно з панеллю 13, і на 186,39 % порівняно з панеллю 16;

- у високочастотній смузі панель 16 володіє кращими звукоізоляційними властивостями і на 52,84 % кращою звукоізоляцією порівняно з панеллю 13. Панель 10 має значення звукоізоляції нижче на 82,87 % порівняно з панеллю 13, і на 179,45 % по відносно панелі 16.

У третій групі ми маємо три зразки товщиною 20 мм із гранулометричним складом 0,5...2,0 мм і різною щільністю: зразок № 19 – 585 кг/м<sup>3</sup>, зразок № 22 – 750 кг/м<sup>3</sup> і зразок № 25 – 915 кг/м<sup>3</sup>.

Загальний результат показує однакову різницю між зразками 19 та 22 і зразками 22 та 25. Також є аналогічна різниця в щільності між зразками 19 та 22 і зразками 22 та 25. Таким чином, ситуація аналогічна групі 2.

Проаналізувавши докладніше, можна виділити такі результати для різних діапазонів частот:

- низькочастотний діапазон 25 має кращі звукоізоляційні властивості і на 28,26% кращу звукоізоляцію панелі 25, ніж панелі 22. Панель 19 має середнє більш низьке значення звукоізоляції 102,36 % відносно панелі 22, і 157,23 % відносно до панелі 25;

- у панель 25 діапазону середніх частот

володіє кращими звукоізоляційними властивостями і на 55,93 % кращу звукоізоляцію, ніж панель 22. Середня панель звукоізоляції панелі 19 має менше значення 126,43 % відносно панелі 22, і 252,57 % відносно до панелі 25;

– у високочастотному діапазоні панель 25 володіє кращими звукоізоляційними властивостями і на 64,28 % кращою звукоізоляцією, ніж панель 22. Панель 19 має нижче значення звукоізоляції 12,70 % порівняно з панеллю 22, і на 273,56 % – з панеллю 25.

**Висновки.** Дані вимірювань показують значний вплив питомої маси на показник

звукоізоляції перегородки. Чим вища питома маса, тим краща звукоізоляція.

Так, панель 7 володіє кращими звукоізоляційними властивостями порівняно з панеллю 4 на 10,50 %, а порівняно з панеллю – кращими на 57,86 %.

Панель 16 має кращі звукоізоляційні властивості порівняно з панеллю 13 на 42,86 %, а порівняно з панеллю 10 – кращі на 168,04 %, а панель 25 володіє кращими звукоізоляційними властивостями порівняно з панеллю 22 на 56,91 %, а порівняно з панеллю 19 кращими, на 231,46 %. Отже, зміна щільності незалежно від товщини панелі значно впливає на показник звукоізоляції.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO 717-1:2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1 : Airborne sound insulation. – 2013. – 18 p. – Режим доступу : <https://www.iso.org/standard/51968.html>
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013. Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 92 с. – Режим доступу : <http://www.mcl.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/09/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-%D0%9D%D0%91%D0%92.1.1-34.pdf>
3. ДБН В.1.2-10-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – 2008. – 14 с. – Режим доступу : [https://dbn.co.ua/\\_id/9/995\\_DBN-V.1.2-10-20.pdf](https://dbn.co.ua/_id/9/995_DBN-V.1.2-10-20.pdf)
4. ISO 717-2:1982. Acoustics – Rating of sound insulation in building and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. – 1982. – 7 p. – Режим доступу : <https://www.iso.org/standard/4941.html>
5. Лунеева Г. С. Оценка беспокоящего воздействия на проживающих в жилых домах шумов, проникающих из соседних квартир и с улицы / Г. С. Лунеева // Звукоизоляция и защита от шумов в жилых домах / ЦНИИЭП жилища. – Москва, 1984. – С. 101–117.
6. Gumiimpex-GRP. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://gumiimpex.hr>

### REFERENCES

1. ISO 717-1:2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, 2013, 18 p.
2. DSTU-NB V.1.1-34:2013 *Nastanova z rozrahunku ta proektuvannya zvukoizolyatsiyi ogorodzhuvalnykh konstruktivly zhitlovykh i gromadskikh budynkiv* [DSTU-NB V.1.1-34: 2013 Guidance on the calculation and design of sound insulation of enclosing structures of residential and public buildings]. Kyiv : Minregion Ukrainy, 2014, 92 p. (in Ukrainian).
3. DBN V.1.2-10-2008. *Sistema zabezpechennya nadijnosti ta bezpeki budivel'nykh ob'ektiv. Osnovni vimogi do budivel'nykh sporud. Zahist vid shumu*. [System to ensure the reliability and safety of construction sites. Basic requirements for buildings and structures. Noise protection]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2008, 14 p. (in Ukrainian).
4. ISO 717-2:1982. Acoustics – Rating of sound insulation in building and of building elements – Part 2: Impact sound insulation, 1982, 7 p.
5. Luneeva H.S. *Otsenka bespokoyaschego vozdeystviya na prozhivayuschih v zhilykh domakh shumov, pronikayuschih iz sosednih kvartir i s ulitsyi* [Assessment of the disturbing effect on the noise of residents living in residential buildings penetrating from neighboring apartments and from the street]. *Zvukoizolyatsiya i zaschita ot shumov v zhilykh domakh. TsNIIEP zhilishcha* [Sound insulation and noise protection in residential buildings. TsNIIEP dwellings]. Moscow, 1984, pp. 101–117. (in Russian).
6. Gumiimpex-GRP. [Electronic resource]. (in Croatian).

Надійшла до редакції: 26.07.2019 р.

УДК 624.073

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.65.512

## ВЕЛИКОПРОЛЬОТНІ БАЛКОВІ КЛІТКИ. УРАХУВАННЯ ЖОРСТКОГО ДИСКА СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ

САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,

ФРОЛОВ М. О.<sup>2</sup>, *аспір.*

<sup>1</sup> 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) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, ел. пошта: [templatar1995@gmail.com](mailto:templatar1995@gmail.com)

**Анотація. Постановка проблеми.** Сучасні методи моделювання і розрахунку споруд і їх елементів дозволяють досліджувати й аналізувати колосальну кількість умов, що впливають на окремі конструкції та споруди в цілому. Точність розрахунків настільки ж важлива, як і швидкість їх проведення в умовах жорсткої конкуренції. Для прискорення розрахунків приймаються різні спрощення та припущення, як, наприклад, розрахунок балкових кліток. Проте в разі використання як перекриття бетонних елементів або ж моноліту це спрощення перетворюється на вкрай грубу помилку. Сучасні програмні комплекси, що застосовують метод кінцевих елементів, у сукупності з потужністю сучасної обчислювальної техніки дозволяють створювати неймовірно за насиченістю і складністю розрахункові схеми. З ростом складності схем і, відповідно, рівнянь, які доводиться розв'язувати обчислювальною технікою, зростає і шанс похибки, яка може з'явитися просто через складність самої схеми. Тому актуальною постає тема спрощення розрахункових схем – де це потрібно і де цього не можна допускати. **Мета** дослідження – вивчення впливу елементів пластин у розрахунку за МКЕ на перерозподіл зусиль у балковій клітці. **В результаті** досліджень з'ясовано, що спрощена схема придатна для оцінювання конструкції, нехай і з легкої похибкою, але не враховує крутного моменту, який на великих прольотах може бути згубним. Варіант, який використовує універсальний КЕ плити, – відмінне рішення для розрахунку гнучких перекриттів і оцінювання впливу моментів від горизонтальних зусиль на балки з перетином великої висоти, і за швидкістю порівняний з першим варіантом. Універсальний КЕ оболонки – складний математичний об'єкт, який враховує зсувну жорсткість перекриття і часто може істотно впливати на несні конструкції, але для його застосування потрібне розуміння тонкощів роботи конструкцій і їх податливості впливам. Хоч цей елемент за правильного застосування дуже ефективний, швидкість його розрахунку нижча, ніж у КЕ плити, і в разі великої їх кількості може зайняти багато часу.

**Ключові слова:** метод кінцевих елементів; залізобетон; великопрольотні конструкції; програмні комплекси; перекриття споруд

## БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ БАЛОЧНЫЕ КЛЕТКИ. УЧЕТ ЖЕСТКОГО ДИСКА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

САВИЦЬКИЙ Н. В.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,

ФРОЛОВ Н. А.<sup>2\*</sup>, *аспір.*

<sup>1</sup> 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) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> 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) 47-02-98, эл. почта: [templatar1995@gmail.com](mailto:templatar1995@gmail.com)

**Аннотация. Постановка проблемы.** Современные методы моделирования и расчета сооружений и их элементов позволяют исследовать и анализировать колоссальное количество условий, влияющих на отдельные конструкции и сооружение в целом. Точность расчетов столь же важна, сколь и скорость их проведения в условиях жесткой конкуренции. Для ускорения расчетов принимаются различные упрощающие допущения, как, к примеру, расчет балочных клеток. Тем не менее, в случае использования в качестве перекрытия бетонных элементов или же монолита данное упрощение превращается в крайне грубую ошибку. Современные программные комплексы, использующие метод конечных элементов, в совокупности с мощностью современной вычислительной техники позволяют создавать невероятные по насыщенности и сложности расчетные схемы. С ростом сложности схем, и, соответственно, уравнений, которые приходится решать вычислительной техникой, растет и шанс погрешности, которая может появиться просто из-за сложности самой



схеми. Поєтому актуальною являється тема упрощення расчетных схем – где это нужно и где этого нельзя допускать. **Цель** исследования – изучение влияния элементов пластин в расчете по МКЭ на перераспределение усилий в балочной клетке. **В результате** исследований выяснено, что упрощенная схема пригодна для оценки конструкции, пусть и с легкой погрешностью, но не учитывает крутящий момент, который на больших пролетах может быть губителен. Вариант, использующий универсальный КЭ плиты, является отличным решением для расчета гибких перекрытий и оценки влияния моментов от горизонтальных усилий на балки с сечением большой высоты, и по скорости сравним с первым вариантом. Универсальный КЭ оболочки является сложным математическим объектом, который учитывает сдвиговую жесткость перекрытия и часто может существенно влиять на несущие конструкции, но для его применения требуется понимание тонкостей работы конструкций и их податливости воздействиям. Хотя этот элемент при правильном применении способен на многое, скорость его расчета ниже, чем у КЭ плиты, и при большом их количестве может занять значительное время.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов; железобетон; большепролетные конструкции; программные комплексы; перекрытия сооружений

## LONG-SPAN BEAM CELLS. CONSIDERING THE RIGIDITY OF THE STEEL AND CONCRETE FLOOR SLAB

SAVYTSKYI M.V.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
FROLOV M.O.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Stud.*

<sup>1</sup> Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, email: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2\*</sup> Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, email: templatar1995@gmail.com

**Abstract. Statement of the problem.** Modern methods of modeling and calculating structures and their elements allow us to investigate and analyze the enormous amount of conditions affecting individual structures and structures as a whole. The accuracy of the calculations is just as important as the speed of their performance under conditions of tough competition. To speed up the calculations, various simplifying assumptions are taken, such as, for example, the calculation of beam cells. However, in the case of the use of concrete elements as overlap or monolith, this simplification turns into an extremely gross error. Modern software systems that use the finite element method, in conjunction with the power of modern computing technology, make it possible to create design schemes that are incredible in terms of saturation and complexity. With the increasing complexity of the schemes, and, accordingly, the equations that have to be solved by computer technology, the chance of an error that may appear simply because of the complexity of the scheme itself grows. Therefore, the topic of simplifying calculation schemes is relevant – where it is needed and where it should not be allowed. **The purpose of the article** is to study the influence of plate elements in terms of FEM on the redistribution of efforts in a beam cell. **The result** of research, it was found that the simplified scheme is suitable for evaluating the design, albeit with a slight error, but does not take into account the torque, which on large spans can be disastrous. The variant using the universal plate FE is an excellent solution for calculating flexible floors, and evaluating the influence of moments from horizontal forces on beams with a large cross section, and is comparable in speed to the first option. Universal FE shell is a complex mathematical object that takes into account the shear stiffness of the overlap, and can often have a significant impact on the supporting structure, but its application requires an understanding of the subtleties of the structures, and their compliance to the effects. Although this element is capable of a lot when used correctly, its calculation speed is lower than that of FE plate, and with a large number of them it can take considerable time.

**Keywords:** finite element method; reinforced concrete; large-span structures; software complexes; floor slabs

**Постановка проблеми.** Сучасні методи моделювання і розрахунку споруд і їх елементів дозволяють досліджувати й аналізувати колосальну кількість умов, що впливають на окремі конструкції та споруди в цілому. Точність розрахунків настільки ж важлива, як і швидкість їх проведення в умовах жорсткої конкуренції. Для прискорення розрахунків приймаються різні

припущення, як, наприклад, розрахунок балкових кліток.

У разі, коли балкова клітка являє собою конструкцію зі сталі, вилучення з моделі самого перекрыття, що лежить на балковій клітці стало стандартною практикою. І справді, урахування жорсткості листової сталі, або, більше того, – просічно-втяжного профілю, не вважається

актуальним, крім особливо складних випадків, і більшою мірою є темою різних досліджень. Це зумовлено низькою жорсткістю такого перекриття – тонка сталь не в змозі передавати значні горизонтальні зусилля, і прийняте спрощення дещо прискорює розрахунок, і полегшує його для оцінювання конструкцій в «польових» умовах.

Проте в разі використання як перекриття бетонних елементів або ж моноліту це спрощення перетворюється на вкрай грубу помилку. Проблема зростає зі збільшенням прольоту, і на значних прольотах ця помилка досягає неймовірних масштабів, тому не припустима.

Тим більше схильні до цього споруди, що зводяться в наші дні – геній архітектури, вимоги економіки, і нові матеріали дозволяють створювати споруди все вищі і ширші, а несні конструкції все тонше і рідше.

Сучасні програмні комплекси, що застосовують метод кінцевих елементів, у сукупності з потужністю сучасної обчислювальної техніки дозволяють створювати неймовірні за насиченістю і складністю розрахункові схеми. Чому ж тоді гостро стоїть питання спрощення завдань? Причина тому – кількість впливів, що дають на конструкції, а також основний принцип теорії надійності, який говорить, що надійність системи залежна від кількості складових її елементів. Програмні комплекси мають потужні обчислювальні можливості, але, все ж, будь-яке обчислення – це всього лише математика.

Із ростом складності схем і, відповідно, рівнянь, які доводиться розв'язувати обчислювальною технікою, зростає і шанс похибки, яка може з'явитися просто через складність самої схеми. Просте округлення, неминуче в будь-якому програмному комплексі, що відбулося тисячі разів, з тисячами і сотнями тисяч елементів, у кінцевому рахунку приведе до неправильного, часом абсурдного, результату. Тому актуальною постає тема спрощення розрахункових схем – де це потрібно і де цього не можна допускати.

**Аналіз публікацій.** Метод скінченних елементів (МСЕ) покладено в основу практично всіх існуючих програмних комплексів, особливо – будівельного призначення. Проте він не позбавлений недоліків – різні теорії МСЕ застосовні лише до певних етапів. Більшість схем методу скінченних елементів будується на основі принципу мінімуму потенційної енергії. Однак ним визначаються тільки переміщення, а внутрішні сили обчислюються через похідні від функцій переміщення, що в кінцевому рахунку викликає великі похибки визначення напружень [4], в результаті чого для більш точних і незалежних розрахунків часто застосовуються не настільки прості, а отже, більш витратні з точки зору обчислень методи.

Сучасні програмні комплекси мають як спрощені так і ускладнені елементи. Основні положення розрахунку конструкцій спонукають до вибору ступеня ідеалізації роботи конструкції відповідно до характеру розв'язуваної задачі [2; 5], тобто вибір використаних кінцевих елементів повинен ураховувати їх характеристики в сукупності із загальними принципами роботи модельованої конструкції.

**Мета дослідження** – вивчити вплив елементів пластин у розрахунку за МСЕ на перерозподіл зусиль у балковій клітці.

**Основний матеріал.** Правильне врахування впливу жорсткості перекриття на балкову клітку – важливий пункт у проектуванні споруди.

Для зручності експерименту приймемо балкову клітку із двома прольотами головної балки довжиною 18 м, і другорядними балками такої ж довжини, з кроком в 6 м, жорстко закріплену до колон осередком 18×18 м. Приймаємо одиничне навантаження в 1 т/м<sup>2</sup> для вертикальної, і 0,1 т/м.п. для горизонтального навантаження нашої конструкції. Розглянемо три варіанти можливого врахування навантажень від перекриттів на балкові клітки, що являють собою несну конструкцію даного перекриття:

– варіант I. Стандартна практика в проектуванні балкових кліток, особливо з сталевим настилом: збирання навантажень із вантажних площ на балки без урахування впливу самого настилу;

– варіант II. Використання універсального чотирикутного КЕ плити, що не враховує зсувних навантажень, для моделювання нежорстких перекриттів;

– варіант III. Використання універсального чотирикутного КЕ оболонки, що враховує зсувні навантажень, для моделювання жорстких перекриттів.

Для моделювання варіанта I не використовуються елементи пластин, і зібране навантаження з вантажних площ на другорядні балки дорівнює 6 і 3 т/м.п. для центральних і крайніх балок відповідно. Як ключові точки для аналізу результатів приймемо чверть перекриття, беручи до уваги, що в інших чвертях зусилля такі ж, дзеркально розташовані по січних площинах. Позначимо порівнювані головні балки як ГБ-1 (крайня) і ГБ-2 (центральна), а другорядні балки як ВБ-1, ..., ВБ-4 (див. рис. 1).

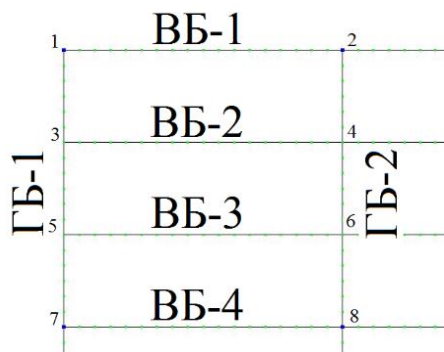
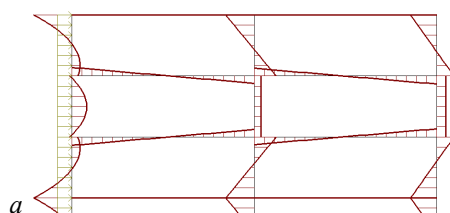


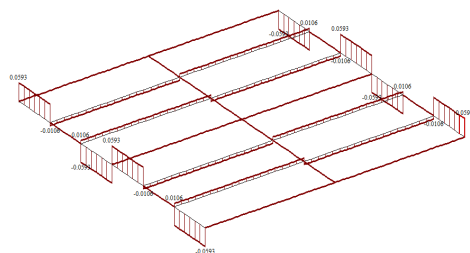
Рис. 1. Схема позначення порівнюваних елементів / Fig. 1. Designation scheme of the compared elements

Після проведення моделювання отримані результати були зведені в таблицю 1. Опора 1 і опора 2 прийняті відповідно до схеми (рис. 1) «від меншого

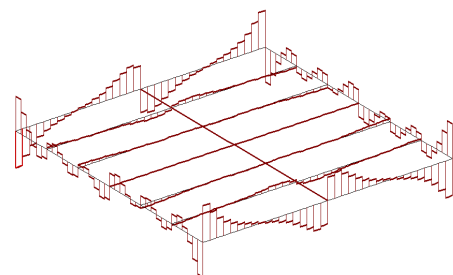


до більшого». Наприклад, для ГБ-1 опора 1 – це т. 1, опора 2 – т. 7, для СБ-2 опора 1 – т. 3, опора 2 – т. 4 і т. д.

Для вертикальних зусиль різниці між варіантами II і III не було виявлено, й обидва варіанти поміщені в один рядок. Згідно з даними цієї таблиці, використання КЕ пластин викликає перерозподіл згинальних моментів  $M_u$  від центра ближче до краю (особливо добре це помітно на ГБ-2, де опора 1 розташована скраю перекриття, а опора 2 – його центр), і зростає крутний момент. Більше того, спотворюється візерунок епюр крутних моментів, і якщо у варіанті I вони прямокутні, то у варіанті II вони набувають форму кривої (рис. 2), при чому значення в прольоті недалеко від опори може виявитися вищим опорного (див. табл. 1, показники, позначені «\*»)

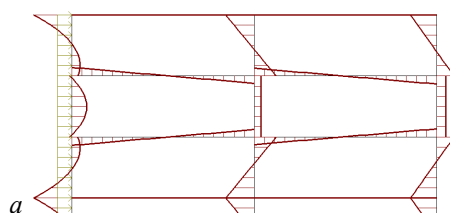


а



б (b)

Рис. 2. Форма епюр крутних моментів: а – варіант I, б – варіанту II і III / Fig. 2. The shape of the diagrams of torques: a – option I, b – options II and III



б (b)

Рис. 3. Форма епюр згинальних моментів  $M_z$ : а – варіанту I і II, б – варіант III / Fig. 3. The shape of the diagrams of bending moments  $M_z$ : a – options I and II, b – option III

Таблиця 1

Таблиця зусиль в елементах від вертикального навантаження в т/м<sup>2</sup>  
Table of forces in elements from vertical load, t/m<sup>2</sup>

Елемент	№ вар.	Згинальні моменти $M_y$ , т·м			Крутні моменти $M_x$ , т·м		
		Опора 1	Проліт	Опора 2	Опора 1	Проліт	Опора 2
ГБ-1	1	-169	84,3	-169,0	0,059	0	-0,059
	2,3	-181	87,9	-168,0	0,332	-0,148*	-0,129
ГБ-2	1	-527	263,0	-527,0	0	0	0
	2,3	-560	269,0	-521,0	0	0	0
ВБ-1	1	-81	40,5	-81,0	0	0	0
	2,3	-66,5	34,3	-60,1	-0,350	0,248*	0,224
ВБ-2	1	-0,059	148,0	-213,0	-0,011	-0,011	-0,011
	2,3	0,151	158,0	-221,0	0,017	-0,042*	-0,017
ВБ-3	1	-0,059	148,0	-213,0	0,011	0,011	0,011
	2,3	0,121	134,0	-184,0	0,030	0,005*	0,002
ВБ-4	1	-162	81,0	-162,0	0	0	0
	2,3	-182	91,5	-174,0	0	0	0

Тепер розглянемо вплив елементів пластин на горизонтальне навантаження. Порівняємо епюри моментів варіантів I, II і III (рис. 3).

Зазначимо, що використання універсального 4-кутного КЕ плити не враховує передачу зсувних навантажень, і в даному випадку рівноцінне варіанту I. Використання ж універсального 4-кутного КЕ оболонки викликає перерозподіл моментів в балку, де прикладене навантаження, де КЕ оболонки починає виконувати функцію опори для стержня, внаслідок чого моменти далі не переходять.

Також було помічено зменшення значення згинального моменту  $M_z$  – якщо варіанти I і II відповідають на навантаження в 0,1 т/м.п. мінімальним  $-0,57$  т·м, і максимальним зусиллям 0,99 т, то варіант III  $-0,15$  т·м і 0,3 т·м відповідно.

Проте, варто пам'ятати що жорсткий диск перекриття утримує тільки частину балки, яка являє собою опорою для цього перекриття. Тож слід ураховувати, що в разі моделювання багат шарових перекриттів в особливо відповідальних конструкціях, наприклад, багат шаровий бетон, бажане урахування всіх шарів окремо [1], зважаючи на складну об'ємну роботу перекриття.

**Висновок.** Розглянуті варіанти відповідають стандартній інженерній оцінці (варіант I), розрахунку балкової клітки із

гнучким перекриттям, наприклад, розрахунок балкової клітки зі сталевим настилом (варіант II), і розрахунку балкової клітки з урахуванням впливу жорсткого диска перекриття, наприклад, залізобетонних плит, установлених на другорядні балки (варіант III).

У результаті досліджень з'ясовано, що спрощена схема придатна для оцінювання конструкції, нехай і з легкою похибкою, але не враховує крутного моменту, який на великих прольотах може бути згубним.

Однак цей варіант може бути єдино правильним розрахунковим методом для оцінювання сталезалізобетонних перекриттів на етапі зведення, до формування сталезалізобетонного перетину [3]. Варіант, який використовує універсальний КЕ плити, – відмінне рішення для розрахунку гнучких перекриттів і оцінювання впливу моментів від горизонтальних зусиль на балки з перетином великої висоти, і за швидкістю порівнюваний з першим варіантом.

Універсальний КЕ оболонки – складний математичний об'єкт, який враховує зсувну жорсткість перекриття і часто може істотно впливати на несні конструкції, але для його застосування потрібне розуміння тонкощів роботи конструкцій і їх податливості впливам. Хоч цей елемент за умови правильного застосування здатний на багато

що, швидкість його розрахунку нижча, ніж у КЕ плити, і за великої їх кількості може зайняти значний час.

Подальше вивчення поведінки конструкцій у разі застосування інших

кінцевих елементів – важливий крок до розроблення точних методик і рекомендацій до розрахунків методом кінцевих елементів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Несущая способность и деформативность многослойных плит перекрытия : дис. канд. тех. наук: 05.23.01 – строительные материалы и изделия / Л. И. Вознюк. – Санкт-Петербург, 2018. – 26 с. – Режим доступа : [http://p.edu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9105/dys\\_vozniuk\\_l.i.pdf](http://p.edu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9105/dys_vozniuk_l.i.pdf)
2. ДБН В.2.6-98: 2009. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 67 с. – Режим доступу : <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-792#load>
3. Замалиев Ф. С. Напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонной конструкции на этапе возведения / Ф. С. Замалиев // Известия КазГАСУ. – Казань : КазГАСУ, 2011. – Вып. 1. – С. 47–54.
4. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин : монография / [Р. Б. Рикардс]. – Рига : Зинатне, 1988. – 284 с.
5. Jhonson R. P. Composite Structures of Steel and Concrete. Beams, slabs, columns, and frames for buildings : monography / [R. P. Jhonson]. – Blackwell Publishing, 2004. – 230 p.

### REFERENCES

1. Voznyuk L.I. *Nesushchaya sposobnost' i deformativnost' mnogosloynnykh plit perekrytiya: dis. kand. tech. nauk : 05.23.01.* [Bearing capacity and deformability of multilayer floor slabs: dis. cand. tech. of sciences ]. Saint-Petersburg, 2018, 26 p. (in Russian).
2. DBN V.2.6-98: 2009. *Konstrukcii budinkiv ta sporud. Betonni ta zalizobetonni konstrukcii. Osnovni polojennya.* [The construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011, 67 p. (in Ukrainian)
3. Zamaliyev F.S. *Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye stalezhelezobetonnoy konstruksii na etape vozvedeniya* [The stress-strain state of the steel-reinforced concrete structure at the construction stage]. *Izvestiya KazGASU* [The news of KazSACU]. Kazan' : KazSACU, 2011, vyp. 1, pp. 47–54. (in Russian).
4. Rickards R.B. *Method konechnih elementov v teorii obolichek i plastin* [The finite element method in the theory of shells and plates]. Riga : Zynatne, 1988, 284 p. (in Russian).
5. Jhonson R.P. *Composite Structures of Steel and Concrete. Beams, slabs, columns, and frames for buildings.* Blackwell Publishing, 2004, 230 p.

Надійшла до редакції: 13.07.19 р.

УДК 69.057:658.513.4

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.71.513

## ГЕОМЕТРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КРИМСЬКОТАТАРСЬКОГО ЖИТЛА

СЕЙТАСАНОВ Е. Р., *аспір.*

Кафедра теорії, історії архітектури та синтезу мистецтв, Національна академія образотворчого мистецтва та архітектури, Вознесенський узвіз, 20, 02000, Київ, Україна, тел. +38 (099) 240-13-82, e-mail: [edemseitasanov@gmail.com](mailto:edemseitasanov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Анотація. Постановка проблеми.** Проведено короткий огляд геометричних передумов щодо вибору архітектурно-планувальних рішень кримськотатарського житла в XVIII–XIX ст. в гірських, передгірних і степових районах Криму. Виявлено окремі геометричні особливості архітектурно-планувальних рішень організації кримськотатарського житла. Протягом епох складна еволюція етнокультурних традицій, що мають у своїй основі найдавніші пласти історії культури, знаходить відображення в архітектурі кримських татар. Не останнє місце в такій ієрархії посідають питання геометричного порядку, які певним чином характеризують морфологію архітектури кримських татар. Розвиток архітектури в сучасному суспільстві – досить складний процес. З одного боку, існує очевидна тенденція загальної глобалізації, яка загрожує нівелювати національні культури. З іншого – у світі зростає тенденція до збереження і примноження національних культурних цінностей, до зміцнення самосвідомості кожного народу, забезпечення розквіту його культури, до відродження витоків народного мистецтва, архітектури. **Мета роботи** – зв'язування геометричних передумов архітектурно-планувальних рішень кримськотатарського житла та їх значення для формування архітектури у Криму в XX ст. за умов реконструкції передумов, закономірностей та особливостей розвитку кримськотатарської архітектури. **Висновки.** Велике значення для архітектурно-планувальної організації кримськотатарського житла мають геометричні передумови та геометричні засоби проектування і будівництва. Це важливі позиції раціонального використання геометричних особливостей рельєфу, принципи раціональної геометрії, засновані на природних, етнічних та екстремальних впливах. Геометрію використовують для визначення просторових форм; для створення форм, які вважаються гармонійними і для планування будівель та їх оточення відповідно до математичних, естетичних і деколи релігійних принципів; для прикрашення будівель математичними об'єктами, наприклад, теселяціями; для вирішення екологічних питань, наприклад мінімізації закручення потоків вітру внизу хмарочосів. Дослідження дозволило встановити окремі геометричні особливості архітектурно-планувальних рішень організації кримськотатарського житла в XVIII–XIX ст. в гірських, передгірних і степових районах Криму.

**Ключові слова:** житлова забудова; кримськотатарське житло; формування; геометрія архітектурно-планувальних рішень

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КРЫМСКОТАТАРСКОГО ЖИЛЬЯ

СЕЙТАСАНОВ Э. Р., *аспір.*

Кафедра теории, истории архитектуры и синтеза искусств, Национальная академия изобразительного искусства и архитектуры, Вознесенский спуск, 20, 02000, Киев, Украина, тел. +38 (099) 240-13-82, e-mail: [edemseitasanov@gmail.com](mailto:edemseitasanov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Аннотация. Постановка проблемы.** Проведен краткий обзор геометрических предпосылок выбора архитектурно-планировочных решений крымскотатарского жилья в XVIII–XIX вв. в горных, предгорных и степных районах Крыма. Выявлены отдельные геометрические особенности архитектурно-планировочных решений организации крымскотатарского жилья. На протяжении ряда эпох сложная эволюция этнокультурных традиций, имеющих в своей основе древние пласты истории культуры, находит отражение в архитектуре крымских татар. Не последнее место в такой иерархии занимают вопросы геометрического порядка, который определенным образом характеризует морфологию архитектуры крымских татар. Развитие архитектуры в современном обществе – довольно сложный процесс. С одной стороны, существует очевидная тенденция всеобщей глобализации, которая угрожает нивелировать национальные культуры. С другой – в мире растет тенденция к сохранению и приумножению национальных культурных ценностей, к укреплению самосознания каждого народа, обеспечению расцвета его культуры, к возрождению истоков народного искусства, архитектуры. Одной из составляющих признаков композиционной организации крымско-татарского жилья XVIII–XIX вв. в горных, предгорных и степных районах Крыма является система применения геометрических

основ как в планировочной организации жилья, так и в других аспектах: ориентации по сторонам света, инсоляции, освещению и тому подобное. **Цель работы** - установление геометрических предпосылок архитектурно-планировочных решений крымскотатарского жилья, и их значение для формирования архитектуры в Крыму в XX в. **Выводы.** Большое значение для архитектурно-планировочной организации крымско-татарского жилья имеют геометрические предпосылки и геометрические средства проектирования и строительства. Это важные позиции рационального использования геометрических особенностей рельефа, принципы рациональной геометрии, которые основаны на природных, этнических и экстремальных воздействиях. Геометрию используют для определения пространственных форм; для создания форм, которые считаются гармоничными и, соответственно, для планировки зданий и их окружения в соответствии с математическими, эстетическими и порой религиозными принципами; для украшения зданий математическими объектами, например, тесселяциями; и для решения экологических вопросов, например минимизации закручивания потоков ветра внизу небоскребов. Исследование позволило установить отдельные геометрические особенности архитектурно-планировочных решений организации крымскотатарского жилья в XVIII–XIX вв. в горных, предгорных и степных районах Крыма.

**Ключевые слова:** *жилья застройка; крымско-татарское жильё; формирование; геометрия архитектурно-планировочных решений*

## GEOMETRICAL BACKGROUND OF ARCHITECTURAL-PLANNING ORGANIZATION OF CRIMEAN-TATAR HOUSING

SEITASANOV E.R., *Postgrad. Stud.*

Department of Theory, History of Architecture and Art Synthesis, National Academy of Fine Arts and Architecture, 20, Voznesenskyi descent, 02000, Kyiv, Ukraine, tel. +38 (099) 240-13-82, e-mail: [edemseitasanov@gmail.com](mailto:edemseitasanov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Abstract. Problem statement.** The article provides a brief overview of the geometric prerequisites for the selection of architectural and planning solutions of the Crimean Tatar housing in the XVIII – XIX centuries. in the mountainous, foothill and steppe regions of the Crimea. Identified some of the geometric features of architectural and planning decisions of the organization of the Crimean Tatar housing. Over a number of epochs, the complex evolution of ethno-cultural traditions, which are based on ancient layers of the history of culture, is reflected in the architecture of the Crimean Tatars. Not the last place in such a hierarchy is occupied by questions of geometric order, in a certain way characterizes the morphology of architecture of the Crimean Tatars. The development of architecture in modern society is a rather complicated process. On the one hand, there is an obvious tendency towards universal globalization, which threatens to level national cultures. On the other hand, there is a growing tendency in the world to preserve and enhance national cultural values, to strengthen the self-awareness of each nation, to ensure the flourishing of its culture, to revive the origins of folk art and architecture. Under these conditions, it is necessary to recall the relevance of the process of reviving the Crimean-Tatar architecture. One of the constituent features of the composite organization of the Crimean Tatar housing of the XVIII – XIX centuries. in the mountainous, foothill and steppe regions of the Crimea, there is a system for applying geometric bases both in the planning organization of housing and in other aspects: orientation to the cardinal points, insolation, lighting, and the like. **The purpose of the article** is the establishment of geometric prerequisites for architectural planning decisions of the Crimean Tatar dwelling, and their importance for the formation of architecture in the Crimea in the 20th century . in the context of the reconstruction of the prerequisites, patterns and peculiarities of the development of the Crimean Tatar architecture. **Conclusions.** The study of the geometric premises of the architectural and planning organization of the Crimean Tatar housing allowed to determine that geometric prerequisites and geometric means of design and construction are important for the architectural planning organization of the Crimean Tatar housing. Geometric prerequisites include: important positions of rational use of geometric features of the relief, principles of rational geometry, which are based on natural, ethnic and extreme influences. Geometry is used: to determine spatial forms; to create forms that are considered harmonious, and accordingly for the planning of buildings and their environment in accordance with mathematical, aesthetic and sometimes religious principles; to decorate buildings with mathematical objects, such as tessellation; and to address environmental issues, such as minimizing the swirling winds at the bottom of the skyscrapers. It is proved that the formation and development of the Crimean Tatar architecture is inextricably linked with the evolution of its architectural and planning characteristics, which are directly related to the geometry. The study allowed to establish some geometric features of architectural and planning decisions of the organization of the Crimean Tatar housing in the XVIII – XIX centuries. in the mountainous, foothill and steppe regions of the Crimea.

**Keywords:** *residential buildings; Crimean Tatar housing; formation; geometry of architectural planning solutions*

**Постановка проблеми.** Протягом ряду традицій, що мають у своїй основі епох складна еволюція етнокультурних найдавніші пласти історії культури,

знаходить відображення в архітектурі кримських татар. Не останнє місце в такій ієрархії посідають питання геометричного порядку, які певним чином характеризують морфологію архітектури кримських татар.

Розвиток архітектури в сучасному суспільстві – досить складний процес. З одного боку існує очевидна тенденція загальної глобалізації, яка загрожує нівелювати національні культури. З іншого – у світі зростає тенденція до збереження і примноження національних культурних цінностей, до зміцнення самосвідомості кожного народу, забезпечення розквіту його культури, до відродження витоків народного мистецтва, архітектури. У цих умовах необхідно нагадати про актуальність процесу відродження кримськотатарської архітектури. Одна зі складових ознак композиційної організації кримськотатарського житла XVIII–XIX ст. в гірських, передгірних і степових районах Криму – це система застосування геометричних засад як у планувальній організації житла, так і в інших аспектах: орієнтації по сторонах світу, інсоляції, освітленню тощо.

**Аналіз публікацій.** В результаті вивчення й аналізу попередніх досліджень з архітектури Криму виявлено, що окремі наукові та науково-популярні публікації не створюють комплексної картини розвитку кримськотатарської архітектури кінця XIX – початку XX ст. Фактологічною основою дослідження є матеріали, отримані в результаті натурних обстежень історичної забудови Криму, вивчення архітектурних матеріалів державних сховищ (Державний архів Кримської області, архів Обласного бюро технічної інвентаризації), спеціалізованих видань 1880–1939 рр., які зберігаються у фондах наукової бібліотеки імені І. Гаспринського, джерел із фондів музеїв міст Сімферополь, Бахчисарай та приватних колекцій, публікацій у вітчизняних і зарубіжних виданнях.

Серія публікацій архітектуро знавців XX ст. У. Боданинського, М. Гінзбурга та Б. А. Куфтина присвячена проблемам архітектури Криму другої половини XIX – початку XX ст. Цілісну картину її розвитку

окреслює книга Ю. В. Крикуна «Пам'ятники кримськотатарської архітектури (XIII–XX ст.)» (2001 р.). Це – ґрунтована узагальнювальна праця, в якій на основі аналізу великого фактичного матеріалу визначено основні тенденції архітектури вказаного періоду, класифіковано типи будинків та їх функціональні особливості, окреслено основні стилістичні напрямки у творчості кримськотатарських архітекторів тощо. Але, на жаль, питання, пов'язані з геометричними передумовами архітектурно-планувальної організації кримськотатарського житла в Криму, залишилися практично не дослідженими.

**Мета дослідження** – встановлення геометричних передумов архітектурно-планувальних рішень кримськотатарського житла та їх значення для формування архітектури у Криму в XX ст. шляхом реконструкції передумов, закономірностей та особливостей розвитку кримськотатарської архітектури.

**Виклад матеріалу.** Кримські татари чималу увагу приділяли архітектурно-планувальній організації житла, проектуванню житлових будинків. Передумови архітектурно-планувальної організації житла були такі: природні (клімат, освітлення, роза вітрів), географічні (каньйони, гори, море, степ), соціально-економічні, демографічні, етнографічні. Геометричні передумови, діалектично пов'язані перерахованими, здійснюють вплив на розміри, організацію у просторі, орієнтацію по сторонах світу тощо, формуючи ступінь комфортності.

Правильне розташування будинку дозволяло максимально використовувати переваги ділянки або нівелювати можливі недоліки, брати до уваги особливості рельєфу. Тому точна прив'язка будинку до ділянки ще на етапі проектування дозволяла враховувати особливості оточення у визначенні форми будинку, покрівлі, внутрішнього планування та зовнішнього оздоблення.

В архітектурно-планувальних рішеннях кримські татари здавна дотримувалися строгих правил: будинок зводили з



урахуванням пожежної безпеки як у межах садиби, так і відносно сусідів; вікна та вхідні двері не мали бути навпроти вікон і дверей сусідів; будинки мали в північній, північно-західній або західній частинах ділянки, що дозволяло гармонійно її організувати і забезпечити оптимальне освітлення. Крім того, таке розташування передбачало терасу з південної або східної частини будинку, що вважалось вдалим, тому що низьке зимове сонце прогрівало терасу, а влітку захищало від спекотного сонця.

«Рельєфне» питання вирішувалося на етапі проектування. У разі наявності ухилу на ділянці передбачалися два варіанти вирішення:

а) органічно вписати будинок у навколишній ландшафт, при цьому цокольна частина будинку буде нерівномірною;

б) вирівняти ділянку і посадити будинок на рівний рельєф, при цьому вирівнювання ділянки потрібно проводити без відчутної шкоди загальній картині ділянки, наприклад, методом каскадного планування.

Орієнтація будинку враховувала розу вітрів кримського регіону (важливий фактор – панівні вітри), а також детально визначене скління.

Головні осі будинку завжди прагнули розташувати уздовж осей частин світу. Це допомагало відгородитися від холодних вітрів, протягів і впустити в будинок найбільшу кількість сонячного світла. У свою чергу, це заощаджувало витрати на опалення та освітлення будівлі. Крім правильного, а значить, корисного для жителів, проходження магнітних полів Землі крізь будинок, таке його розташування передбачало непряомлінійність розташування доріжок.

Обов'язково приділялася увага питанню перспективної розбивки саду на ділянці. Високорослі дерева саджали біля західного та північного кордонів ділянки, східну частину відводили під низькорослі чагарники і грядки, місце перед входом у будинок залишали відкритим, тут розбивали квітник.

Розташування будинку на ділянці по сторонах світу відповідало тривалості інсоляції, до чого пред'являлися чіткі вимоги. Але вони стосувалися тільки житлових кімнат. Приміщення іншого призначення (кухні, коридори, веранди тощо) не враховувалися.



Рис. 1. Розташування будинку на ділянці по сторонах світу /Fig. 1. Location of the house in the area on the sides of the world

Одночасно враховували і розу вітрів. Менш сприятливими сторонами для Криму вважаються північна, північно-західна і західна. Це ті сторони світу, вітри з яких переважають. Такі потоки вітру мають велику швидкість, нижчу меншу температуру, тобто вони сильніші і холодніші за інші.

Тому найчастіше стіни з північної і західної сторін виконувалися глухими або з невеликою кількістю вікон. З північної сторони розміщували господарські приміщення, комори. Таке розташування захищало житлові кімнати. Місця відпочинку влаштовували далеко від дому, в найбільш затишному і красивому місці, подалі від сторонніх. Ділянкою вирощування рослин був найсвітліший і захищений від вітрів куточок. Саму будівлю традиційно зводили з північно-західного боку ділянки, бажано на височині. Ганок робили з південно-східної сторони будинку.

Найбільше сонячного світла припадало на південну сторону будинку. Тому в цьому напрямку зазвичай розміщували дитячі кімнати, веранди, зали, зимові сади. Найменше сонця доводилося на північну сторону. З цього боку в приміщення проникало мало світла. Великі вікна в цьому

випадку не були вирішенням проблеми. Тут розміщувалися кухні, господарські кімнати.

Східна сторона будинку найкраще освітлюється в ранкові години. Але в зимовий час сонце зникає з вікон досить рано. Тому з цього боку облаштовували спальні, столові. Спінна сторона – західна. Вона сильніше інших піддається впливу холодних вітрів і опадів.

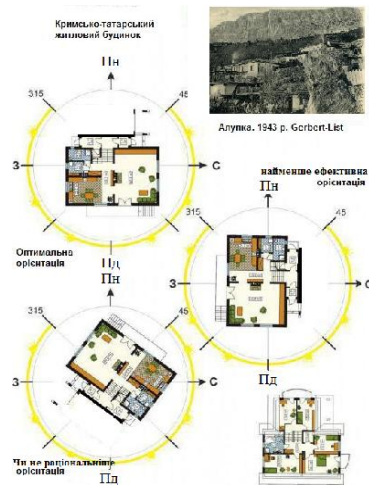


Рис. 2. Кримськотатарський житловий будинок / Fig. 2. Crimean Tatar dwelling house

Зазвичай із цього боку розміщували кімнати для гостей, спальні.

Конструктивне рішення будівлі в цілому визначається на першому етапі проектування вибором конструктивної схеми.



Рис. 3. Старовинний двоповерховий житловий будинок традиційної компоновки / Fig. 3. Ancient two-storeyed dwelling house of traditional layout

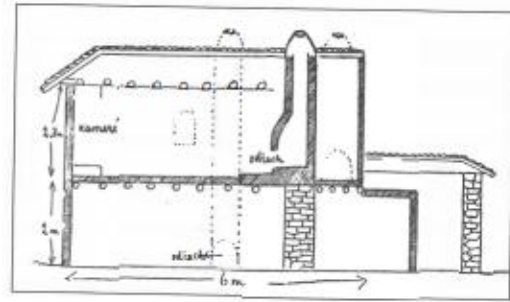


Рис.4. План будинку Асма-кую, 41. Поздовжній розріз [11] / Fig. 4. House plan Asma-kuei, 41. Longitudinal section [11]

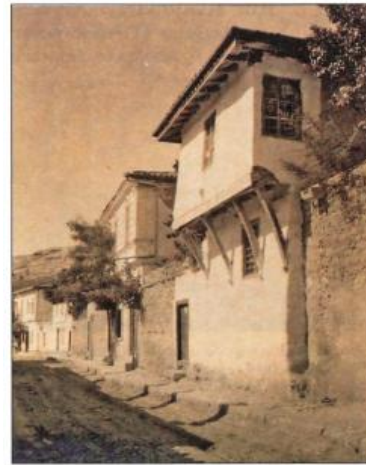


Рис.5. Будинок із вогнищем і виступаючими дерев'яними консолями. Осман-ага, вул. І. Гаспринського, 8. Фото початку ХХ століття / Fig. 5. House with fire and protruding wooden consoles. Osman-aha, st. I. Gasprinsky, 8. Photo of the early twentieth century

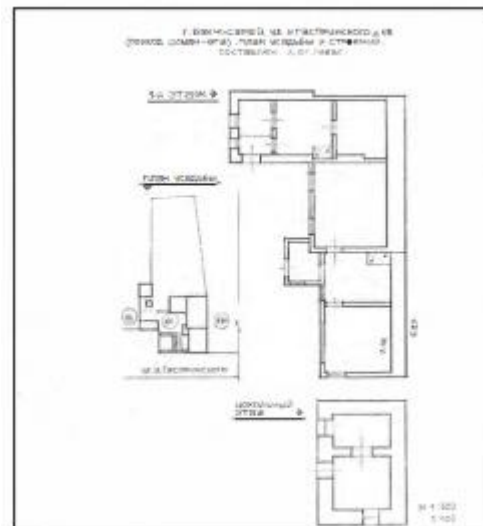


Рис. 6. План садиби і будов будинку з виступаючими дерев'яними консолями (вул. І. Гаспринського, 8) / Fig. 6. House plan and buildings with protruding wooden consoles (I. Gasprinsky St., 8)



Рис. 7. Старий кримськотатарський будинок. Асма-кую, 41. Фото з поштової листівки 1920-ті рр. / Fig. 7. The old Crimean Tatar house. Asma-kuei, 41. Photo from the postcard of the 1920's



Рис. 10. Коккоз. Будинок, південний фасад. Фото 1929 р. з фондів БІКАМЗ № 276 (959–230) / Fig. 10. Coccosis House, south facade. Photo 1929 from the funds of BIKAMZ № 276 (959–230)

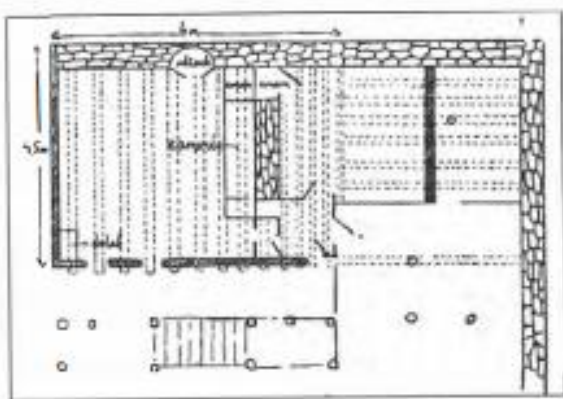


Рис. 8. План будинку Асма-кую, 41. План нижнього поверху [11] / Fig. 8. Plan of the house Asma-kuei, 41. Plan of the lower floor [11]

Головна особливість усіх архітектурно-конструктивних систем, що застосовуються в кримськотатарській архітектурі, полягає у використанні як основної несної конструкції перекриття та покриття, арки.



Рис. 9. Буюк-Озенбаши, загальний вигляд вулиці Чешме. Фонди БІКАМЗ, № 259 (Ст. Інв. № 1020). Фото Яновського, 1929 р. / Fig. 9. Bujuk-Ozenbach, a general view of the street Cesme. BIKAMZ Foundation, No. 259 (St. Inv. No. 1020). Photo by Yanovsky, 1929

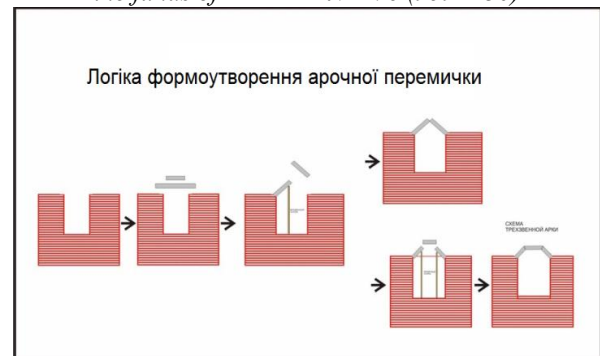


Рис. 11. Логіка формоутворення арочної перемички / Fig. 11. Logic of formation of arched jumper

Геометрія і логіка їх формоутворення наведені на рисунку 11. Найцікавішою виглядає «клинчаста арка», яка утворюється з клиноподібних елементів (каменів), розташованих по дузі, найчастіше по дузі кола (рис. 12).

Осмислення аркових конструкцій дозволило зробити наступний крок до винаходу кам'яного покриття просторів, обмежених по периметру стінами. Просте циліндричне склепіння, по суті, являє собою безліч арок, «зліплених» бічними поверхнями одна з одною (рис. 13).

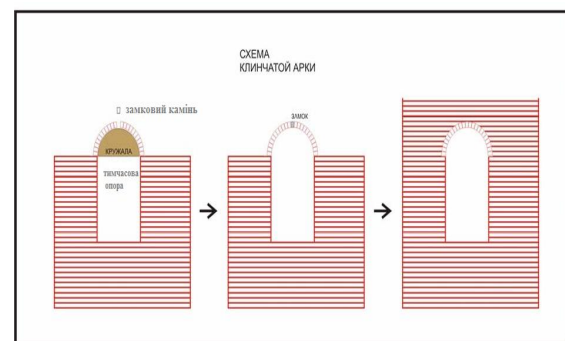


Рис. 12. Схема клинчастої арки / Fig. 12. Scheme of wedge arches

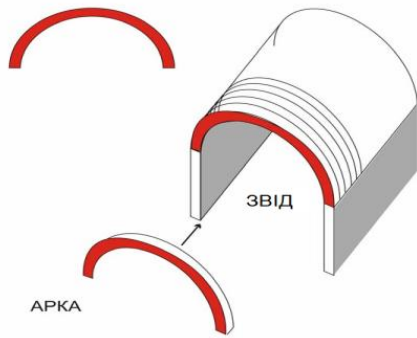


Рис. 13. Просте циліндричне склепіння /  
Fig. 13. Simple cylindrical assembly

У кримськотатарській архітектурі найбільш поширене «купольне» склепіння – одна з чудових конструкцій покриття з малорозмірних каменів. На відміну від циліндричного склепіння, купола криволінійних і у поперечному, і в поздовжньому напрямках. Найбільш поширені купола в формі півсфери. Оптимальна форма плану опорних стін для них – коло. Яскравим прикладом тут можуть служити татарські лазні, Гьозльовські лазні (рис. 14, 15). Склепіння купольних покриттів на прямокутних планах завжди складало конструктивну і технологічну проблему. З точки зору формоутворення вона сходиться до відомої геометричної ситуації поєднання кола і квадрата, «описаний» і «вписаний» у коло квадрат (рис. 16, 17).



Рис.14. Татарські лазні. Бахчисарай /  
Fig.14. Tatar baths. Bakhchisaray



Рис.15. Гьозльовські лазні / Fig. 15. Gyzlyowski Baths

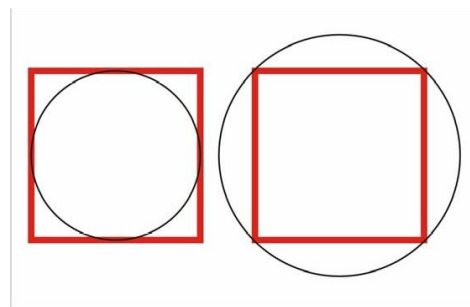


Рис. 16. Поєднання кола і квадрата /  
Fig. 16. Combinations of a circle and a square

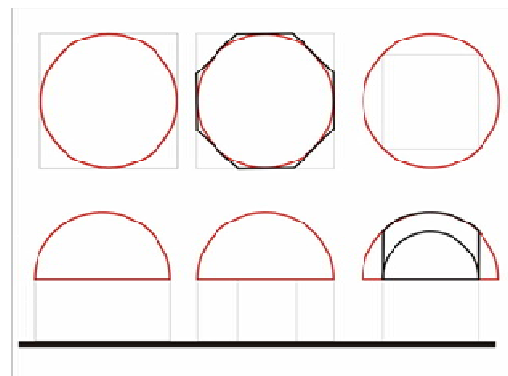


Fig. 17. Схеми проектування куполів на квадратичних планах / Fig. 17. Design schemes for domes on quad-plane plans



Рис. 18. Будинок на перетині вулиць Леніна і Н.Спаі. Махаллі Орта-джами. Фото С. Некрасова, поч. XX ст. / Fig.18. The house at the intersection of Lenin and N.Spai streets. Mahally Orta Jami. Photo by S. Nekrasov beg. Twentieth century

У процесі конструювання та будівництва реальних куполів на квадратних планах в одному випадку купол спирається на стіни в чотирьох точках і закриває практично весь простір, за винятком чотирьох кутів, які закривають спеціальними приладами. В іншому випадку купол, спираючись на чотири кути, закриває весь квадратний простір плану, але частина його у вигляді чотирьох сегментів виявляється «зайвою». Їх доводиться «обрізати» чотирма вертикальними площинами, що збігаються зі стінами (рис. 18). Компромiсним рішенням бачиться проміжний варіант, коли прямокутний план перетворюється на октагон (восьмикутник), а купол спирається майже як на круглий план.

Треба зазначити, що для закріплення купола на «вписаний» квадратний план доводиться влаштовувати проміжні арки в тих місцях, де «губиться» опорна стіна. Тим самим від купола ні би «відрізають» умовними вертикальними площинами, що збігаються з площинами стін, чотири сферичні сегменти. А що залишився «усічений» купол, доводиться спиратися вже на чотири вертикальні арки, що збігаються з тими ж площинами стін. Ця архітектурно-конструктивна система може спиратися і на чотири стіни, і на чотири стовпи. Такі архітектурно-конструктивні системи широко використовували архітектори в Криму.

**Висновки.** Дослідження геометричних передумов архітектурно-планувальної

організації кримськотатарського житла дозволило:

1. Зв'язувати, що велике значення для архітектурно-планувальної організації кримськотатарського житла мають геометричні передумови та геометричні засоби проектування і будівництва.

До геометричних передумов належать: важливі позиції раціонального використання геометричних особливостей рельєфу, принципи раціональної геометрії, засновані на природних, етнічних та екстремальних впливах.

Геометрію використовують: для визначення просторових форм; для створення форм, які вважаються гармонійними та, відповідно, для планування будівель та їх оточення відповідно до математичних, естетичних і деколи релігійних принципів; для прикрашання будівель математичними об'єктами, наприклад, теселяціями; та для вирішення екологічних питань, наприклад мінімізації закручення потоків вітру внизу хмарочосів.

2. Доведено, що становлення та розвиток кримськотатарської архітектури нерозривно пов'язані з еволюцією її архітектурно-планувальних характеристик, які безпосередньо пов'язані з геометрією.

3. Встановити окремі геометричні особливості архітектурно-планувальних рішень організації кримськотатарського житла в XVIII–XIX ст. в гірських, передгірних і степових районах Криму.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Араухо И. Архитектурная композиция : монография / [И. Араухо]. Пер. с исп. М. Г. Бакланова, А. Михе. – Москва : Высшая школа, 1982. – 208 с.
2. Боданский У. Археологическое и этнографическое изучение татар в Крыму : монография / [У. Боданский]. – Симферополь, 1930. – 31 с.
3. Боданский У. Бахчисарайские памятники : монография / [У. Боданский]. – Симферополь : Типография Таврического Губернского Земства, 1916. – 6 с.
4. Возгрин В. Е. Исторические судьбы крымских татар : монография / [В. Е. Возгрин]. – 2013. – 12 с.
5. Гинзбург М. Районная планировка: архитектура, обследование, решение : монография / [М. Гинзбург]. Авт. кол. ГИПРОГОР г. Москвы. – Москва, 1933. – 126 с.
6. Гольдберг М. Крым и крымские татары / М. Гольдберг. – Вестник Европы. – 1883. – Т. VI. – № 11. – С. 13–21.
7. Дубовский М. Жилище крымских горных татар : монография / [М. Дубровский]. – Симферополь : Издательство Таврического Губернского Земства, 1914. – 22 с.
8. Засыпкин Б. Н. Памятники архитектуры крымских татар : монография / [Б. Н. Засыпкин]. – Крым. – 1929. – № 2 (4). – С. 8–12.
9. Крикун Ю. В. Архитектура Южнобережья : монография / [Ю. В. Крикун]. – Симферополь, 1970. – 96 с.

10. Крикун Ю. В. Пам'ятники кримськотатарської архітектури (XIII–XX ст.) : монографія / [Ю. В. Крикун]. – Сімферополь : Таврида, 2001. – 168 с.
11. Куфтин Б. А. Жилище крымских татар в связи с историей заселения полуострова : монографія / [Б. А. Куфтин]. – Москва: Наука, 1925. – 50 с.
12. Куфтин Б. А. Южнобережные татары Крыма. Забвению не подлежит (Из истории крымско-татарской государственности и Крыма) : монографія / [Б. А. Куфтин]. – Казань, 1992. – 245 с.
13. Шейко В. М. Культура. Цивілізація. Глобалізація (кінець XIX – початок XXI ст.) : монографія / [В. М. Шейко]. – Харків : Основа, 2001. – Т. 2. – 400 с.

## REFERENCES

1. Araukho I. *Arkhitekturnaya kompozitsiya* [Architectural composition]. Trans. by M.G. Baklanova, A. Mikhe. Moscow: High School, 1982, 208 p. (in Russian).
2. Bodanskiy U. *Arkheologicheskoye i etnograficheskoye izucheniye tatar v Krymu* [Archeological and ethnographic study of the Tatars in the Crimea]. Simferopol, 1930, 31 p. (in Russian).
3. Bodanskiy U. *Bakhchisarayskiye pamyatniki* [Bakhchisarai monuments]. Simferopol : Typography of the Taurida Provincial Zemstvo, 1916, 6 p. (in Russian).
4. Vozgryn V.E. *Istoricheskiye sud'by krymskikh tatar* [The historical fate of the Crimean Tatars]. 2013, 12 p. (in Russian).
5. Ginzburg M. *Rayonnaya planirovka: arkhitektura, obsledovaniye, resheniye* [Regional planning: architecture, survey, decision]. Team of authors Moscow's GIPROGOR. Moscow, 1933, 126 p. (in Russian).
6. Holdberg M. *Krym i krymskiye tatory* [Crimea and the Crimean Tatars]. Bulletin of Europe, 1883, vol. VI, no. 11, pp. 13–21. (in Russian).
7. Dubrovskiy M. *Zhilishche krymskikh gornyykh tatar* [Dwelling of the Crimean mountain Tatars]. Simferopol : Typography of the Taurida Provincial Zemstvo, 1914, 22 p. (in Russian).
8. Zasyplin B.N. *Pamyatniki arkhitektury krymskikh tatar* [Monuments of architecture of the Crimean Tatars]. Crimea, 1929, no. 2 (4), pp. 8–12. (in Russian).
9. Krikun Yu.V. *Arkhitektura Yuzhnoberezh'ya* [Architecture of South Coast]. Simferopol, 1970, 96 p. (in Russian).
10. Krikun Yu.V. *Pam'yatnyky kryms'kotatars'koyi arkhitektury (XIII- XX st.)* [Memorials of the Crimean Tatars (XIII-XX<sup>th</sup>)]. Simferopol: Tavrida, 2001, 168 p. (in Russian).
11. Kuftin B.A. *Zhilishche krymskikh tatar v svyazi s istoriyey zaseleniya poluostrova* [The dwelling of the Crimean Tatars in connection with the history of the settlement of the peninsula]. Moscow : Science, 1925, 50 p. (in Russian).
12. Kuftin B.A. *Yuzhnoberezhnyye tatory Kryma. Zabveniyu ne podlezhit (Iz istorii krymsko-tatarskoy gosudarstvennosti i Kryma)* [South Coast Tatars of Crimea. It is not subject to oblivion (From the history of the Crimean Tatar state and Crimea)]. Kazan, 1992, 245 p. (in Russian).
13. Sheiko V.M. *Kul'tura. Tsivilizatsiya. Hlobalizatsiya (kinets' XIX – pochatok XXI st.)* [Culture. Tsivilizatsiya. Globalization (the end of the 19<sup>th</sup> cen. – the beginning of the XXI<sup>th</sup> cen.)]. Kharkiv : Basis, 2001, vol. 2, 400 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 31.07.2019 р.

УДК 621.872

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.80.514

## НАУКОВІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІННОВАЦІЙНОГО ТЕЛЕСКОПІЧНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА БУЛЬДОЗЕРА (НА ОСНОВІ ЗАГАЛЬНИХ ТЕОРІЙ ВЗАЄМОДІЇ ВІДВАЛЬНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ІЗ СЕРЕДОВИЩЕМ)

ХМАРА Л. А.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., проф.*,  
КРОЛЬ Р. М.<sup>2</sup>, *к. т. н., доц.*

<sup>1\*</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 585-26-59, e-mail: [leonidkhmara@yahoo.com](mailto:leonidkhmara@yahoo.com), ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

<sup>2</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: [krol.roman2012@yandex.ua](mailto:krol.roman2012@yandex.ua), ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

**Анотація. Постановка проблеми.** Процес взаємодії відвальних робочих органів із ґрунтом, що розроблюється, – один із визначальних факторів робочого циклу машин для землерійно-транспортних робіт. Характер процесу суттєво впливає на конструкцію землерійно-транспортних машин. Процесу взаємодії відвального робочого органу машини з ґрунтом залежить від технологічного призначення машини, тобто від виду робіт, що виконуються машиною, фізико-механічних властивостей ґрунту та способу його руйнування, геометричних параметрів робочого органу, параметрів режиму копання (глибини різання, кута різання, кута установки робочого органу в плані і тощо.), які визначають силові та енергетичні параметри робочого процесу машини. Можливість оптимізації геометричних параметрів телескопічного робочого органу бульдозера до різноманітних ґрунтових умов та технологічних операцій дозволить раціонально використовувати тягово-зчіпні характеристики машини, підвищити її продуктивність та універсальність. **Мета статті** – огляд і аналіз існуючих теорій взаємодії відвальних робочих органів із ґрунтом та розроблення, на їх основі, алгоритму оптимізаційного розрахунку геометричних параметрів відвала бульдозера телескопічного типу залежно від ґрунтових умов та тягово-зчіпних характеристик базової машини, визначення його продуктивності під час копанні та транспортування ґрунту. **Висновок.** На основі тягового балансу розроблено алгоритм оптимізації геометричних параметрів відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації  $P_{NG}$  залежно від потужності двигуна базової машини та фізико-механічних властивостей середовища, що розроблюється.

**Ключові слова:** бульдозер; ґрунтові умови; базова машина; дальність транспортування ґрунту; геометричні параметри відвала; оптимізаційний розрахунок; тягово-зчіпні характеристики

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИННОВАЦИОННОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА БУЛЬДОЗЕРА (НА ОСНОВЕ ОБЩИХ ТЕОРИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТВАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СО СРЕДОЙ)

ХМАРА Л. А.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., проф.*,  
КРОЛЬ Р. М.<sup>2</sup>, *к. т. н., доц.*

<sup>1\*</sup> Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (067) 585-26-59, e-mail: [leonidkhmara@yahoo.com](mailto:leonidkhmara@yahoo.com), ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

<sup>2</sup> Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: [krol.roman2012@gmail.ua](mailto:krol.roman2012@gmail.ua), ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

**Аннотация. Постановка проблемы.** Процесс взаимодействия отвальных рабочих органов с разрабатываемым ґрунтом является одним из определяющих факторов рабочего цикла машин для землеройно-транспортных работ. Характер процесса значительно влияет на конструкцию землеройно-транспортных машин. Процесс взаимодействия отвального рабочего органа машины с ґрунтом зависит от технологического назначения машины, а именно от вида работ, которые выполняются машиной, физико-механических свойств ґрунта и способа его разрушения, геометрических параметров рабочего органа, параметров режима копания (глубины резания, угла резания, угла установки рабочего органа в плане и т. д.), которые определяют силовые и

энергетические параметры рабочего процесса машины. Возможность оптимизации геометрических параметров телескопического рабочего органа бульдозера к различным грунтовым условиям и технологическим операциям позволит рационально использовать тягово-сцепные характеристики машины, повысить её производительность и универсальность. **Цель статьи** – обзор и анализ существующих теорий взаимодействия отвальных рабочих органов с грунтом и разработка, на их основе алгоритма оптимизационного расчета геометрических параметров отвала бульдозера телескопического типа в зависимости от грунтовых условий и тягово-сцепных характеристик базовой машины, определение его производительности при копании и транспортировании грунта. **Выводы.** На основании тягового баланса разработан алгоритм оптимизации геометрических параметров отвала бульдозера телескопического типа по обобщенному критерию оптимизации  $\Pi_{NG}$  в зависимости от мощности двигателя базовой машины и физико-механических свойств разрабатываемой среды.

**Ключевые слова:** бульдозер; грунтовые условия; базовая машина; дальность транспортирования грунта; геометрические параметры отвала; оптимизационный расчет; тягово-сцепные характеристики

## SCIENTIFIC BASES OF THE OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF INNOVATIVE TELESCOPIC WORKING BODY OF A BULLDOZER (ON BASIS OF GENERAL THEORIES OF COOPERATION OF DUMP WORKING BODIES WITH ENVIRONMENT)

KHMARA L.A.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KROL R.M.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of construction and road machinery, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 585-26-59, e-mail: [leonidkhmara@yahoo.com](mailto:leonidkhmara@yahoo.com), ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

<sup>2</sup> Department of construction and road machinery, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (099) 207-87-00, e-mail: [krol.roman2012@gmail.ua](mailto:krol.roman2012@gmail.ua), ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

**Abstract. Problem statement.** The process of co-operation dump working bodies with the developed soil is one of determinative duty cycle machines for earth-moving transport works. Character passing of process carries out the considerable influence on the construction of earth-moving transport machines. Passing process of cooperation dump working body machine with soil depends on the technological setting machine, namely from a kind of a robot, that is executed by a machine, physical and mechanical properties of soil and method of his destruction, geometrical parameters of working body, parameters of the mode digging (depth of cutting, cutting corner, corner setting of working organ in a plan and etc.), that determine power and power parameters of working process machine. Possibility optimization of geometrical parameters telescopic working body of bulldozer to different ground to the terms and technological operations will allow rationally to use hauling and coupling descriptions of machine, promote her productivity and universality. **Purpose.** There is a review and analysis of existent theories of cooperation of dump working bodies with soil and development, on their basis, algorithm of optimization calculation geometrical parameters of dump bulldozer telescopic type depending on the ground terms and hauling and coupling descriptions of base machine, determination of his productivity at digging and portage soil. **Conclusions.** On the basis of hauling balance the algorithm optimization of geometrical parameters dump bulldozer telescopic type is worked out after the generalized criterion optimization  $\Pi_{NG}$  depending on engine of base machine and physical and mechanical properties of the developed environment power.

**Keywords:** bulldozer; ground terms; base machine; soil transportation activity, geometrical parameters of dump; optimization calculation; hauling-coupling descriptions

**Актуальність проблеми.** Можливість адаптації робочих органів землерийно-транспортних машин (ЗТМ) до різноманітних ґрунтових умов та технологічних операцій дозволить раціонально використовувати тягово-зчіпні характеристики машини, підвищити її продуктивність та універсальність.

**Аналіз публікацій.** Питанням тягових розрахунків ЗТМ присвячені праці М. Г. Домбровського [5], А. М. Зеленина

[6; 7], В. І. Баловнева, І. П. Керова [2; 3], Н. Я. Хархути, М. І. Капустіна, В. П. Семєнова, І. М. Евєнтова [4], А. М. Холодова [13; 14], Т. В. Алексєєвої, К. А. Артемеєва, А. А. Бромберга [1], Л. А. Хмари [8; 9], Ю. О. Вєтрова [10], але вони не розглянули питання впливу зміни геометричних параметрів робочого органа на тягово-зчіпні характеристики ЗТМ, а також не виконано оптимізаційний розрахунок робочого органа для різних ґрунтових умов.



**Мета статті** – розроблення алгоритму оптимізаційного розрахунку геометричних параметрів відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації  $P_{NG}$  на основі загальних теорій взаємодії відвальних робочих органів із середовищем залежно від ґрунтових умов та тягово-зчіпних характеристик бульдозера.

**Основний матеріал.** Процес взаємодії з розроблюваним ґрунтом – один із визначальних факторів робочого циклу машин для землерийно-транспортних робіт. Характер процесу суттєво впливає на конструкцію ЗТМ. Процесу взаємодії робочого органа машини із ґрунтом залежить від технологічного призначення машини, тобто від виду робіт, що виконуються машиною, фізико-механічних властивостей ґрунту та способу його руйнування, геометричних параметрів робочого органа, параметрів режиму копання (глибини різання, кута різання, кута установки робочого органа в плані тощо), які визначають силові та енергетичні параметри робочого процесу машини.

Бульдозери класифікують за призначенням, номінальним тяговим зусиллям та різними конструктивними схемами [10]. За призначенням розрізняють бульдозери загального призначення та спеціальні. Перші виконують пошарове різання, набір та переміщення ґрунтів, порід та матеріалів середньої міцності у середніх кліматичних умовах (помірний клімат з температурою від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ).

Економічно вигідна середня дальність транспортування ґрунту бульдозерами загального призначення звичайно не перевищує 60 м. Частіше за все такі бульдозери обладнані неповоротним у горизонтальній площині відвалом.

Другі, бульдозери спеціального призначення, використовуються для виконання окремих видів робіт: прокладення шляхів та доріг, згрібання торфу, розрівнювання кавальєрів, підземної та підводної розробки матеріалів, розробки та переміщення легких і сипких матеріалів типу вугілля та ін., а також для роботи в

особливих кліматичних умовах (наприклад, за низьких температур до  $-60^{\circ}\text{C}$ , у сухому та жаркому кліматі пустель, у тропічній місцевості, у небезпечних та загазованих місцях, на ґрунтах із пониженою несною здатністю тощо). На спеціальних бульдозерах встановлюються різноманітні типи відвалів.

За номінальним тяговим зусиллям бульдозери поділяються на надважкі (з номінальним тяговим зусиллям понад 300 кН та потужністю понад 300 кВт), важкі (відповідно 200...300 кН та 184...300 кВт), середні (135...200 кН та 118...183 кВт), легкі (25...135 кН та 43...117 кВт) та малогабаритні (відповідно менше 25 кН та менше 43 кВт).

За конструктивними ознаками бульдозери класифікують за типом ходової частини, робочих органів, рам та управління. За типом ходової частини розрізняють бульдозери гусеничні та колісні. Для розробки міцних ґрунтів використовуються гусеничні бульдозери. За типом робочого органа бульдозери розрізняють (рис. 1):

– з неповоротним (прямим) відвалом, установленим на бульдозері перпендикулярно повздовжній осі машини (кут захвату рівний  $90^{\circ}$ );

– з неповоротним півсферичним відвалом, вигнуті бокові щитки та ножі якого установлені під невеликим кутом до лобової поверхні;

– з неповоротним сферичним відвалом, що складається з трьох приблизно рівних частин, встановлених під кутом близько  $15^{\circ}$  один до одного;

– з неповоротним коротким відвалом, обладнаним амортизаторами для зменшення ударних навантажень під час штовхання скреперів;

– з поворотним відвалом, який можна встановлювати в горизонтальній площині під кутом в обидві сторони до повздовжньої осі машини або перпендикулярно до неї;

– універсальні (шляхопрохідники) з шарнірно-зчленованим відвалом із двох частин; кожен частину чи обидві разом можна встановлювати в горизонтальній

площині під кутом до повздожньої осі машини чи перпендикулярно до неї.

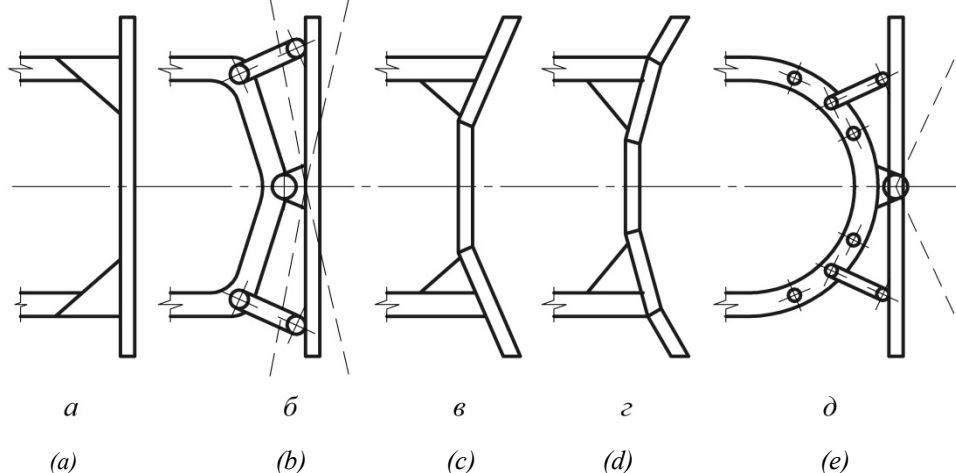


Рис. 1. Конструкції бульдозерних відвалів (вид зверху): а – неповоротний лобовий відвал; б – поворотний в плані відвал; в – півсферичний відвал; г – сферичний відвал великої накопичувальної здатності; д – універсальний шарнірно-зчленований відвал (шляхопрохідник) / Fig. 1. Constructions of bulldozer dumps (kind from above): a – irrevocable frontal dump; b – turning in a plan dump; c – semispherical dump; d – spherical dump of large story ability; e – universal joint - arthrous dump (wayshaft)

Півсферичні та сферичні відвали характеризуються великою утримувальною здатністю завдяки переміщенню призми волочіння збільшеного об'єму, що дозволяє різко підвищити продуктивність бульдозера під час розробки маломіцних ґрунтів.

Всі вказані типи бульдозерів можуть мати пристрій для поперечного перекошу відвала. Перекіс відвала полегшує розробку міцних ґрунтів та порід, нарізання канав та кюветів. Бульдозери з відвалами перших трьох типів інколи мають регулювання кута різання шляхом повороту (нахилу) відвала вперед та назад.

Нині здебільшого використовуються бульдозери з півсферичним неповоротним відвалом та пристроєм для перекошу. Такі бульдозери можна ефективно використовувати для розробки більшості типів ґрунтів. Для розширення області використання бульдозерів на відвал навішується швидкоз'ємне робоче обладнання: гідрокерований щелепний захват із виступаючим середнім ножем [2], рузпушувальні зубці, вилкові захвати, підйомний крюк тощо.

По тину рами розрізняють бульдозери з обхоплювальною та внутрішньою рамою. На разі внутрішню раму використовують тільки для бульдозерів-штовхачів, жорсткість робочого обладнання котрих

повинна бути підвищеною. За типом механізму керування розрізняють бульдозери з гідравлічним та канатно-блочним керуванням, причому останній тип керування все більше виходить із використання.

Підвищення продуктивності бульдозера досягається за рахунок установки на базовий трактор (рис. 2) бульдозерного робочого обладнання, що складається із штовхальних брусів 1, що приварених до основного відвала 2. У внутрішній порожнині основного відвалу 2, по обидві його бічні сторони, встановлені, із можливістю осьового переміщення, допоміжні відвали 3. Осьове переміщення допоміжних відвалів 3 здійснюється за допомогою двоштокового гідроциліндра 4, закріпленого на основному відвалі 2 в кронштейнах 5. На внутрішньому боці основного відвала 2 за допомогою болтових з'єднань закріплені напрямні 6, виконані із бронзи, по котрих переміщуються допоміжні відвали 3. У свою чергу, тильний бік допоміжних відвалів 3 має короби 7, 8 та 9 із напрямними 10, 11 та 12. Короби 7, 8 та 9 контактують із відповідними коробами 13, 14 та 15 основного відвала 2.

Така конструкція дозволяє переміщувати допоміжні відвали 2 без значного опору осьового переміщення, а

наявність внутрішніх коробів забезпечує достатню жорсткість основного та допоміжних відвалів за максимального вильоту останніх.

Таке робоче обладнання бульдозера може адаптуватися до різних ґрунтових

умов зміні довжини вильоту допоміжних відвалів за допомогою двоштокового гідроциліндра, що дозволить ефективніше використати тягово-зчіпні характеристики базової машини.

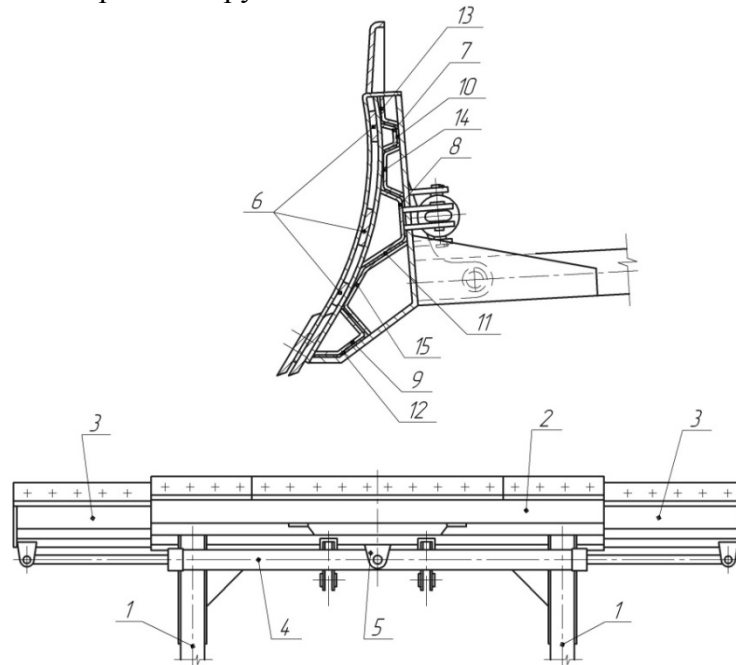


Рис. 2. Конструкція робочого обладнання бульдозера телескопічного типу /  
Fig. 2. Construction working equipment of bulldozer telescopic type

Схема процесу взаємодії бульдозерного обладнання з ґрунтом у разі установки відвала в плані під прямим кутом до повздожньої осі бульдозера наведена на рисунку 3. Під час копання ґрунту, ґрунт набирається бульдозерним відвалом та формуються призми волочіння до початку сталого режиму копання, коли кількість ґрунту, що надходить у призму волочіння, рівна кількості ґрунту, котрий втрачається відвалом у бокові валки. Експериментально встановлено [3], що стружка, котра відділяється від масиву, на початковому етапі за дії відпору ґрунту рухається вгору по відвалу. На останніх етапах різання у верхній частині відвала стружка руйнується на окремі фрагменти, які падають вниз на шари ґрунту, що знову вирізаються та утворюють призму волочіння.

Розрізняють три зони (рис. 3), що характеризують процес взаємодії відвала з ґрунтом [6]. Зона формування стружки 1, що розташовується біля різального краю відвала. Зона 2, яка характеризується рухом

пласту ґрунту по відвалу. Зона 3 визначається як зона руйнування пласта ґрунту та утворення призми волочіння.

Існують різні теорії, що описують процеси різання ґрунту плоским ножом та копання ґрунту відвалом бульдозера. Широко використовуються для визначення зусиль копання ґрунту відвальними робочими органами формули, отримані академіком В. П. Горячкіним, професорами В. І. Баловневим, Ю. О. Ветровим, А. Н. Зеленіним, к. т. н. А. А. Яркіним та ін.

Академік В. П. Горячкін запропонував формулу для визначення зусилля різання ґрунту [12]:

$$T_p = G \cdot f + K \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot g_m^2,$$

де  $G$  – сила тяжіння плуга;  $f$  – коефіцієнт тертя ножа по ґрунту;  $K$  – питомий опір різанню, який залежить від міцності ґрунту;  $a, b$  – відповідно глибина та ширина різання;  $\varepsilon$  – коефіцієнт пропорційності;  $g_m$  – швидкість різання.

Перший член формули характеризує процес тертя, другий член – процес руйнування масиву ґрунту, третій член – інерційні сили перевертання та відкидання пласта ґрунту. Ця формула призначена для розрахунку сільськогосподарських плугів із середньою глибиною різання  $a = 0,15 \dots 0,2$  м та співвідношенням геометричних параметрів різання  $b = 1,5 \cdot a$ , що обмежує можливість її використання для розрахунку зусиль копання ґрунту робочими органами землерийно-транспортних машин.

На рисунку 4 подано розрахункову схему для визначення опору копанню ґрунту неперворотним відвалом бульдозера на кінцевому етапі копання, яку запропонував д. т. н., професор В. І. Баловнєв [3].

Горизонтальна складова опору копанню для плоского ножа з циліндричним відвалом постійної кривизни на основі прийнятої схеми в загальному вигляді визначається за формулою:

$$P_T = P_p + P_{np} + P_{гор}$$

де  $P_p$  – опір різанню з урахуванням опору руху пласта по відвалу та опору бокових ножів;  $P_{np}$  – опір призми волочіння з урахуванням впливу горизонтальної складової сил, що згинають пласт (останньою можна знехтувати);  $P_{гор}$  – горизонтальна складова опору підйому пласта.

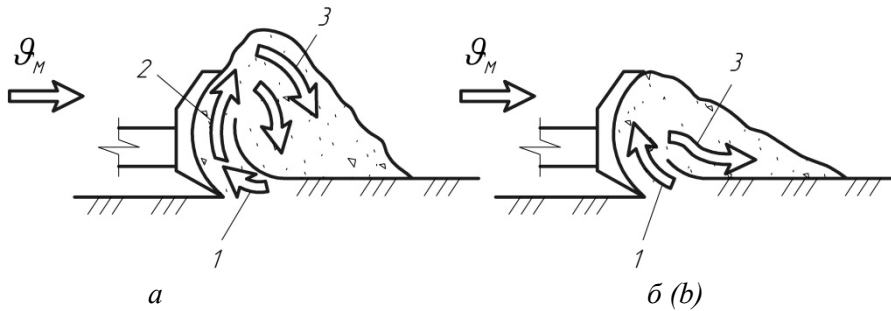


Рис. 3. Схема руху ґрунту перед відвалом бульдозера: а – зв’язний ґрунт; б – незв’язний ґрунт; 1 – зона формування стружки; 2 – зона руху пласта ґрунту по відвалу; 3 – зона руйнування пласта ґрунту та утворення призми волочіння / Fig. 3. Chart motion of soil before dump of bulldozer: a – coherent soil; b – incoherent soil; 1 – zone of forming shaving; 2 – zones motion layer of soil are on dump; 3 – zones destruction layer of soil and formation prism dragging

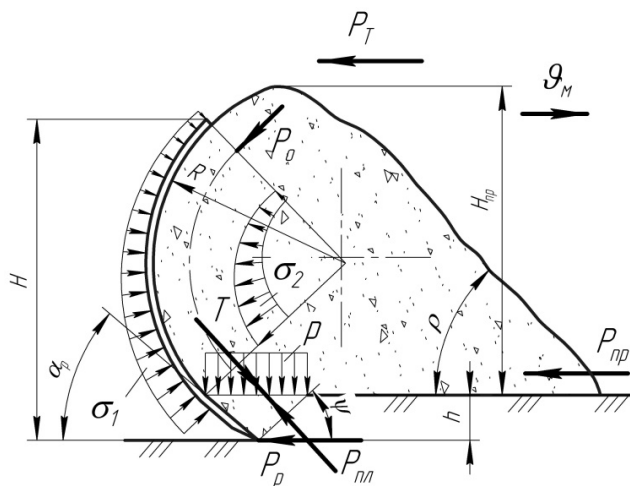


Рис. 4. Розрахункова схема для визначення опору копанню ґрунту відвалом бульдозера / Fig. 4. Calculation chart for determination resistance digging of soil by the dump bulldozer

Ґрунт, що вирізується плоским ножом із масиву (рис. 4) у вигляді стружки, яка згинається та переміщується вгору по відвалу, проходячи через призму волочіння по шляху найменшого опору. Пасивний тиск з боку призми волочіння визначає дію на стружку ґрунту нормальних сил  $\Delta N$ , розподілених по поверхні тертя та, у свою чергу, характеризує сили тертя  $T_1$  та  $T_2$ . Сумарна дія цих сил тертя та власної ваги стружки ґрунту характеризує опір  $T$  руху стружки вгору по відвалу. Одночасно опір  $T$  діє зверху у вигляді розподіленого тиску  $P$  на елемент ґрунту, що відділяється плоским ножом від масиву, який намагається зсунути уперед та вгору під кутом зсуву  $\psi$ . Таким чином, сила переміщення ґрунту вгору по відвалу одночасно впливає на силу різання (відокремлення ґрунту від масиву).

При  $K = R/H \geq 0,9 \dots 1,1$ , де  $R$  – радіус кривизни відвала;  $H$  – висота відвала, маємо:

$$P_p = (1 + ctg\alpha_p \cdot tg\delta) \cdot A_1 \cdot B \cdot h \cdot \left[ 9,81 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{2} + ctg\rho + 9,81 \cdot \left( \frac{tg\rho}{K_\psi} \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{H^2}{h} + \gamma_p \cdot H \right) \right], \text{ кН};$$

$$P_{np} = 9,81 \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{B \cdot H^2}{2}, \text{ кН};$$

$$P_{zop} = 2 \cdot tg\delta \cdot A_2 \cdot l_6 \cdot h \cdot \left( 9,81 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{2} + ctg\rho \cdot C \right), \text{ кН},$$

де  $\alpha_p$  – кут різання, град.;  $\delta$  – кут зовнішнього тертя, град.;  $B$  – ширина різання для неповоротного відвала, рівна довжині відвала  $B$ , м;  $h$  – глибина різання, м;  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту з незруйнованою структурою, т/м<sup>3</sup>;  $C$  – зчеплення ґрунту з незруйнованою структурою, кН/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, що розроблюється, град.;  $\gamma_p$  – об'ємна маса ґрунту з незруйнованою структурою, т/м<sup>3</sup>;  $H_{np}$  – висота призми волочіння, рівна висоті відвальної поверхні, м;  $l_6$  – ширина бокового ножа, м;  $A_1, A_2, K_\psi$  – коефіцієнти,

що визначаються за формулами:

$$A_1 = \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\alpha_p}{1 - \sin \rho};$$

$$A_2 = \frac{\cos \delta \cdot \left( \cos \delta + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta} \right)}{1 - \sin \rho} \times e^{\left( \pi - 2\alpha_{\kappa\epsilon} + \delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \rho} \right) tg \rho};$$

$$K_\psi = \frac{tg \alpha_p + tg \psi}{tg \alpha_p \cdot tg \psi}; \quad 0 < \alpha_{zam} < \frac{\pi}{2}$$

де  $e$  – основа натуральних логарифмів,  $e = 2,718$ ;  $\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$  – кут зсуву ґрунту, град;  $\alpha_{zam}$  – кут затуплення різального ножа.

Напрямок руху пласта на кінцевому етапі не завжди буде проходити по поверхні відвала. Він визначається величиною опорів, які виникають на шляху можливого просування, а також міцнісними властивостями стружки, що вирізується. Вважаючи поверхню ковзання криволінійною поверхнею з досить великим радіусом кривизни, розрахункову формулу для визначення  $P_T$  можна записати в такому спрощеному вигляді:

$$P_T = (1 + ctg\alpha_p \cdot tg\delta) \cdot A_1 \cdot B \cdot h \cdot \left[ 9,81 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{2} + ctg\rho \cdot C + 9,81 \cdot \left( \frac{tg\rho}{K_\psi} \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{H^2}{h} + \gamma_p \cdot H \right) \right] + 9,81 \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{B \cdot H^2}{2}, \text{ кН}. \quad (1)$$

Формула (1) отримана на основі статички сипкого середовища та дозволяє виконувати оцінювання відносної ефективності робочих органів відвального типу при  $\rho > \delta$  та швидкості різання  $v_m \leq 1,5$  м/с [3].

Розрахунок за формулою (1) передбачає необхідність знання фізико-механічних властивостей ґрунту, що розроблюється по параметрам  $\rho$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_p$ ,  $C$ . Ця теорія показує хороший збіг із практичними результатами для процесів копання зв'язних та незв'язних ґрунтів відносно невеликої міцності відвальними робочими органами бульдозерів та автогрейдерів, а також використовується для розрахунку зусиль копання ґрунту ковшовими робочими

органами скреперів, навантажувачів тощо. Розрахунок  $P_T$  за формулою (1) дає відносну помилку 4...25 % [3].

У практиці розрахунків використовують емпіричні залежності проф. А. Н. Зеленина для визначення опору копанню ґрунту

відвалом бульдозера [7]. На рисунку 5 показана розрахункова схема процесу взаємодії неповоротного відвалу бульдозера з ґрунтом в кінці набору призми волочіння за сталого режиму копання.

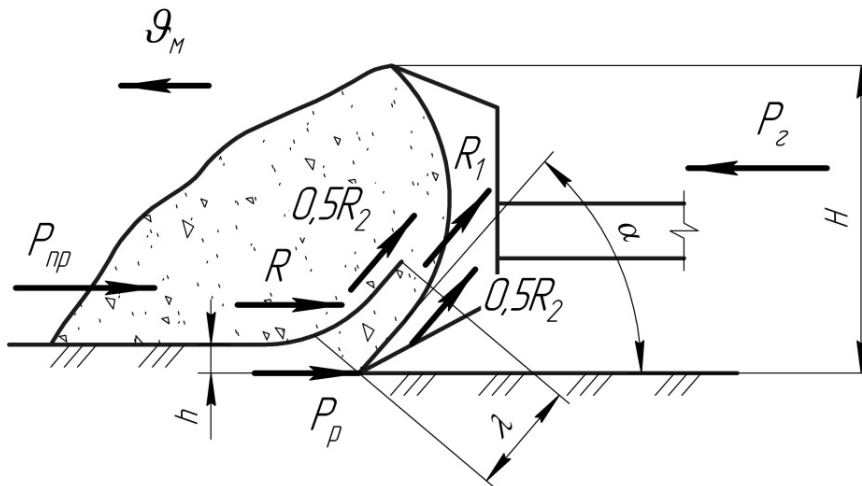


Рис. 5. Розрахункова схема взаємодії відвала бульдозера з ґрунтом у кінці копання за А. Н. Зелениним / Fig. 5. Calculation chart cooperation the dump bulldozer with soil at the end digging for A.N. Zeleninu

У відповідності з розрахунковою схемою (рис. 5) горизонтальна складова опору копанню ґрунту бульдозерним відвалом визначається із виразу [7]:

$$P_T = P_p + R + P_{np}, \quad (2)$$

де  $P_p$  – опір ґрунту різанню;  $R$  – опір заповнення відвала ґрунтом у кінці набору призми волочіння;  $P_{np}$  – опір переміщенню призми волочіння ґрунту перед відвалом.

$$P_p = 9,81 \cdot C \cdot h^{1,35} (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha), \quad \text{кН}, \quad (3)$$

де  $C$  – кількість ударів ударника ДорНДІ;  $h$  – глибина різання, см;  $l$  – довжина відвала, м;  $\alpha$  – кут різання, град.

$$R = (R_1 + R_2) \cdot \cos \delta_c, \quad \text{кН},$$

де  $R_1$  – опір втисненню стружки в кінці набору призми волочіння перед відвалом;  $R_2$  – опір тертя стружки ґрунту об ґрунт призми волочіння та по бульдозерному відвалу;  $\delta_c$  – кут нахилу стружки до горизонту, град;  $\delta_c = \alpha + 5 \dots 10^0$ ,  $\alpha$  – кут різання, град.

$$R_1 = \xi \cdot K_{сжс} \cdot l_1 \cdot h, \quad \text{кН},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт привантаження, що залежить від висоти бульдозерного відвала

$H$ ;  $\xi = 1$  при  $H \leq 0,4$  м;  $\xi = 1,5$  при  $H = 0,4 \dots 1,0$  м;  $\xi = 2$  при  $H \geq 1$  м;  $K_{сжс}$  – питомий опір вдавлювання стружки в кН/см<sup>2</sup>, вибирається по таблиці 1 [7];  $l_1$  – довжина відвала, см;  $h$  – глибина різання, см.

$$R_2 = 2 \cdot H \cdot l \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot \text{tg} \frac{(\rho + \delta)}{2},$$

де  $H$  – висота відвала, м;  $l$  – довжина відвала, м;  $\lambda$  – довжина стружки,  $\lambda = 0,25 \dots 0,35$  м;  $\rho$  – кут тертя ґрунту об ґрунт, град.;  $\delta$  – кут тертя ґрунту об метал, град.

У зв'язку з незначною похибкою пропонується проводити розрахунок величини  $R$  за спрощеною формулою:

$$R = \xi \cdot K_{сжс} \cdot l_1 \cdot h. \quad (4)$$

Опір рухові призми волочіння ґрунту можна прорахувати за формулою:

$$P_{np} = 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \text{tg} \rho, \quad (5)$$

де  $V_{np}$  – фактичний об'єм призми волочіння в щільному тілі, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту в щільному тілі, т/м<sup>3</sup>.

Таблиця 1

**Значення питомого опору вдавлювання стружки ґрунту  $K_{сж}$  залежно від кількості ударів ударника ДорНДІ / Value specific resistance pressing shaving of soil  $K_{сж}$  is depending on the amount shots shock-worker DorNDI**

$C$	1-2	3	4	6
$K_{сжс}$ , кН/см <sup>2</sup>	0,000686	0,001568	0,002156	0,00245
$C$	10	16	30	-
$K_{сжс}$ , кН/см <sup>2</sup>	0,004704	0,007056	0,01372	-

$$V_{np} = \frac{l \cdot H^2}{2 \cdot K_{np}}, \quad (5a)$$

де  $l$  – довжина відвала, м;  $H$  – висота відвала, м;  $K_{np}$  – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту (в'язкості, коефіцієнта розпушення) та від співвідношення  $\frac{H}{l}$ . Значення коефіцієнта  $K_{np}$  від співвідношення  $\frac{H}{l}$  та типу ґрунту (табл. 1.2, [7]).

З урахуванням виразів (3), (4) та (5) формула (2) матиме вигляд:

$$P_T = 9,81 \cdot C \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha) + \xi \cdot K_{сжс} \cdot l_1 \cdot h + 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot tg\rho. \quad (6)$$

До недоліків емпіричної формули (6) можна віднести складність точного розрахунку об'єму призми волочіння  $V_{np}$ , який становить величину, що визначається експериментально. Крім того, формула справджується для однорідних ґрунтів і не може бути використана для ґрунтів із каменистими включеннями, оскільки величина  $C$  визначається ударником ДорНДІ та може виявитися неточною. Формула (6) справедлива за швидкостей різання ґрунту  $g_m \leq 1,5$  м/с, а також для умов, за яких були отримані коефіцієнти  $\xi$ ,  $K_{сжс}$  та сама формула.

У практиці розрахунків горизонтальної складової опору копанню відвалом бульдозера в кінці набору призми волочіння використовується розрахункова формула к. т. н. А. А. Яркіна [12]:

$$P_T = P_p + P_{np} + P_e = K \cdot l \cdot h + 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot tg\rho + 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \cos^2 \alpha \cdot tg\delta, \text{ кН}, \quad (7)$$

де  $P_p$  – опір різанню;  $P_{np}$  – опір призми волочіння;  $P_e$  – опір переміщення ґрунту вверх по відвалу;  $K$  – питомий опір ґрунту лобовому різанню, кН/м<sup>2</sup>; середнє значення  $K$  при куті різання  $\alpha = 45^0 \dots 60^0$  складають у кН/м<sup>2</sup> [12]:

- для ґрунтів I категорії – 70;
- для ґрунтів II категорії – 110;
- для ґрунтів III категорії – 170;

$l$  – ширина відвала бульдозера, м;  $h$  – глибина різання, м;  $V_{np}$  – фактичний об'єм призми волочіння в щільному тілі, визначається за формулою (5а);  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту в щільному тілі, кг/м<sup>3</sup>;  $tg\rho$  – коефіцієнт опору переміщенню призми волочіння ґрунту по ґрунту [12]:

- для зв'язних ґрунтів  $tg\rho = 0,5$ ;
- для незв'язних ґрунтів  $tg\rho = 0,7$ ;
- (максимальне значення  $tg\rho = 1$ );

$tg\delta$  – коефіцієнт тертя ґрунту об метал:

- для зв'язних ґрунтів  $tg\delta = 0,5$ ;
- для незв'язних ґрунтів  $tg\delta = 0,7$ .

Формула (7) використовується для орієнтовних розрахунків, оскільки числові дослідні коефіцієнти  $K$ ,  $tg\rho$ ,  $tg\delta$  мають наближені значення, справедливі значення тільки для конкретних ґрунтових умов.

Один із способів розрахунку сил різання ґрунтів (рис. 6) розробив та запропонував проф. Ю. О. Ветров [11]. Він відрізняється можливістю окремо враховувати вплив на сили різання основних факторів процесу різання та засновується на закономірностях

цього процесу для простих ножів, що відділяють стружку, із яких звичайно утворюється різальна частина робочих органів землерийних машин. Сила різання простим гострим ножом залежить від трьох основних геометричних параметрів: ширини зрізу, товщини зрізу (глибини різання) та кута різання. Взаємодія ножа із ґрунтом має просторовий характер.

Силу блокового різання  $P$  розкладають на три складові:

$$P = P_{св} + P_{бок} + P_{бок.ср}, \quad (8)$$

де  $P_{св}$  – сила, потрібна для подолання опору ґрунту передньою гранню ножа (пропорційна площі перерізу прорізі перед передньою гранню ножа та залежить від кута різання та міцності ґрунту);  $P_{бок}$  – сила, потрібна для подолання опору ґрунту руйнуванню в бокових розширеннях прорізі (пропорційна їх площі перетину, залежить від міцності ґрунту та не залежить від кута різання та ширини зрізу);  $P_{бок.ср}$  – сила, необхідна для подолання опору ґрунту зрізу боковими ребрами ножа біля дна прорізі (пропорційна товщині зрізу,

залежить від міцності ґрунту та не залежить від кута різання та ширини зрізу).

Якщо ніж має площадку зношення чи затуплення, виникає додаткова сила різання

$P_{пл.зн}$ :

$$P_{св} = p_{св} \cdot F_{св}; \quad P_{бок} = p_{бок} \cdot F_{бок};$$

$$P_{бок.ср} = p_{бок.ср} \cdot L_{бок};$$

$$P_{пл.зн} = p_{пл.зн} \cdot L_{пл.зн},$$

де  $p_{св}$ ,  $p_{бок}$  – питомі сили руйнування ґрунту відповідно в середній частині та бокових розширеннях прорізі;  $F_{св}$ ,  $F_{бок}$  – площі середніх та бокових частин поперечного перерізу прорізі;  $p_{бок.ср}$  – питома сила зрізу ґрунту боковими ребрами ножа;  $L_{бок}$  – сумарна довжина лінії зрізу ґрунту боковими ребрами ножа;  $p_{пл.зн}$  – питома сила для подолання опору ґрунту на площадці зношення чи затуплення ножа, що припадає на одиницю довжини різального краю;  $L_{пл.зн}$  – довжина затупленого чи зношеного різального краю (у разі блокового різання простим ножом вона рівна ширині зрізу).

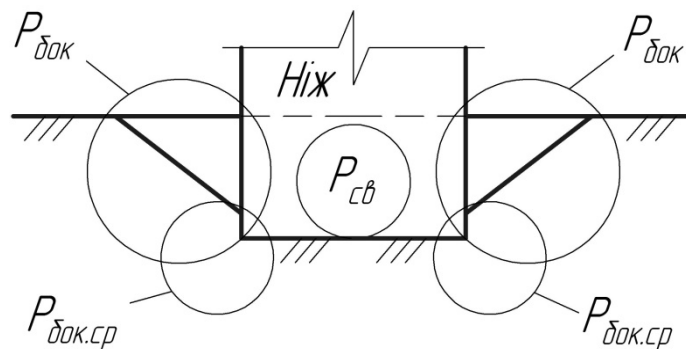


Рис. 6. Зони дії складових сили різання гострим ножом /  
Fig. 6. Zones action constituents cutting force by a sharp knife

Формула (8) може бути використана для зубів ковшів та розпушувачів. Недоцільно її застосовувати для визначення опору копанню ґрунту відвалом бульдозера, оскільки ця формула не містить членів, що характеризують сили опору заповнення відвала ґрунтом та переміщення призми волочіння перед відвалом.

Визначаються оптимальна висота, ширина відвала бульдозера та довжина

транспортування, за яких буде повністю використане тягове зусилля базової машини, отримана максимально можлива продуктивність, дотримані умови пересування бульдозера з неповоротним відвалом по зчепленню та мінімальною глибиною різання в кінці копання ґрунту, необхідною для відновлення призми волочіння за неминучих втрат ґрунту в бокові валки, забезпечений мінімум



узагальненого показника енергоємності та металоємності.

Для складання алгоритму оптимізації висоти та ширини відвала використовуються формули тягового розрахунку бульдозера, визначення продуктивності, енергоємності, металоємності, глибини різання на початку та в кінці копання ґрунту й інших параметрів.

Загальний опір, що діє на бульдозер під час транспортування об'єму ґрунту, що міститься перед відвалом, визначається за формулою:

$$W_T = W_{np} + W_{cmp} + W_{nep}, \quad (9)$$

де  $W_{np}$  – опір переміщенню призми волочіння ґрунту перед відвалом, кН;  $W_{cmp}$  – опір переміщенню ґрунту вверх по відвалу, кН;  $W_{nep}$  – опір переміщенню бульдозера,

кН.

$$W_{np} = 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot tg \rho,$$

де  $V_{np}$  – об'єм призми волочіння ґрунту, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту, т/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – кут тертя ґрунту об ґрунт.

$$V_{np} = \frac{B \cdot H^2}{2 \cdot K_{np}},$$

де  $H$  – висота відвалу, м;  $B$  – ширина відвалу, м;  $K_{np}$  – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту (зв'язності, коефіцієнта розпушення) та співвідношення  $\frac{H}{B}$ . Значення коефіцієнта  $K_{np}$  залежно від співвідношення  $\frac{H}{B}$  та типу ґрунту наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта призми волочіння ґрунту  $K_{np}$  / Value coefficient prism dragging of soil  $K_{np}$

Співвідношення $H/B$	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Зв'язні ґрунти I–III категорії	0,7	0,73	0,77	0,8	0,85	0,9	0,95
Незв'язні ґрунти	1,15	1,17	1,19	1,2	1,2	1,3	1,5

$$W_{cmp} = 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \cos^2 \alpha \cdot tg \delta,$$

де  $\alpha$  – кут різання, град.;  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту, т/м<sup>3</sup>;  $\delta$  – кут тертя ґрунту об метал, град.

$$W_{nep} = 9,81 \cdot G \cdot (f \pm i),$$

де  $G$  – маса трактора та бульдозерного обладнання, т;  $f$  – коефіцієнт опору переміщенню руху трактора,  $f = 0,1 \dots 0,12$ ;  $i$  – нахил місцевості.

Знак «плюс» ставиться під час роботи бульдозера на підйомах та знак «мінус» – на схилах. Якщо кут нахилу місцевості  $\beta \geq 10^0$  (0,175 рад), розрахунок слід проводити за більш точною формулою:

$$W_{nep} = 9,81 \cdot G \cdot (f \cdot \cos \beta \pm i \cdot \sin \beta),$$

при  $\beta = 0$  маємо  $W_{nep} = 9,81 \cdot G \cdot f$ ;

$$G = G_m + G_b, \quad (9a)$$

де  $G_m$  – маса трактора, т;  $G_b$  – маса бульдозерного обладнання, що орієнтовно може бути визначена за формулою:

$$G_{b,j+1} = \frac{H_{j+1}}{H_{min}^{noch}} \cdot G_{b,min}^{noch} \cdot K_{G,j+1},$$

де  $G_{b,j+1}$  – маса бульдозерного обладнання за збільшеної висоти відвала бульдозера, т;  $H_{j+1}$  – збільшена висота відвала бульдозера порівняно з початковою прийнятою висотою відвала бульдозера, м;  $H_{min}^{noch}$  – початково прийнята висота відвала бульдозера, м;  $K_{G,j+1}$  – коефіцієнт збільшення маси бульдозерного обладнання, що залежить від збільшення висоти та ширини відвала, співвідношення  $H/B$ .

Орієнтовне значення коефіцієнта  $K_{G,j+1}$  залежно від співвідношення  $H/B$  наведені в таблиці 3.

За  $H_{j+1} = H_{min}^{noch}$  та  $K_{G,j+1}$  маємо  $G_{b,j+1} = G_{b,min}^{noch}$ .

Таблиця 3

Орієнтовні значення коефіцієнта збільшення маси бульдозерного обладнання /  
Reference values coefficient increase mass of bulldozer equipment

Співвідношення $H/B$	0,15	0,20	0,25	0,3	0,35	0,40	0,45
Коефіцієнт $K_G$	1,00	1,02	1,04	1,05	1,05	1,13	1,31

Визначаємо тягове зусилля базової машини  $T$  за формулою:

$$T = 0,9P_{кол} = \frac{0,9 \cdot N_{дв}}{g_p}, \quad (10)$$

де  $P_{кол}$  – колове зусилля на ведучих колесах тягача або ведучих зірочках гусеничного трактора, кН;  $N_{дв}$  – потужність двигуна базової машини, кВт;  $g_p$  – швидкість руху бульдозера під час копання ґрунту,  $g_p = 0,4 \dots 0,5$  м/с.

Визначаємо необхідне тягове зусилля для різання ґрунту на кінцевому етапі копання:

$$T_{риз} = T - W_T = T - (W_{np} + W_{cmp} + W_{nep}).$$

Товщина стружки на кінцевому етапі копання  $h_2$  визначається за формулою:

$$h_2 = \frac{T_{риз}}{L \cdot K}, \quad (11)$$

де  $K$  – питомий опір ґрунту лобовому різанню, кН/м<sup>2</sup>, для ґрунту I категорії  $K = 70 \dots 100$  кН/м<sup>2</sup>; II категорії  $K = 100 \dots 180$  кН/м<sup>2</sup>; III категорії  $K = 180 \dots 200$  кН/м<sup>2</sup>;  $L$  – довжина шляху транспортування ґрунту, м.

Для того, щоб призма ґрунту, що переміщується, поповнювала свій об'єм у разі втрат у бокові валки, необхідно, щоб дотримувалась умова  $h_2 \geq h_{заг}$ , де  $h_{заг}$  – величина заглиблення ножа бульдозера на кінцевому етапі копання, за якої відновлюються втрати ґрунту в транспортованій призмі волочіння під час її переходу в бокові валки.

Величину заглиблення ножа бульдозера можна визначити за формулою:

$$h_{заг} = \frac{K_{вал} \cdot V_{np}}{L}, \quad (12)$$

де  $K_{вал}$  – коефіцієнт, що характеризує втрати ґрунту в бокові валки на 1 м шляху,

$K_{вал} = \frac{V_{вал}}{V_{np}}$ ;  $V_{вал}$  – об'єм ґрунту в бокових

валках у щільному тілі на 1 м шляху, м<sup>3</sup>/м.

Орієнтовно коефіцієнт  $K_{вал}$  можна прийняти рівним для ґрунтів:

зв'язних  $K_{вал} = 0,025 \dots 0,032$ ;

незв'язних  $K_{вал} = 0,06 \dots 0,07$ .

Визначаємо опір ґрунту різанню на кінцевому етапі копання:

$$W_p = K \cdot h_{заг} \cdot L.$$

Загальний опір, що діє на бульдозер під час його руху на кінцевому етапі копання:

$$\sum W = W_p + W_{np} + W_{cmp} + W_{nep}. \quad (13)$$

Тяговий розрахунок передбачає безумовне виконання умови

$$\sum W \leq G_{зч} \cdot \varphi \leq T,$$

де  $T$  – тягове зусилля базової машини, кН;  $G_{зч}$  – зчїпна вага бульдозера, рівна для бульдозерів на пневмоколісному ході вазі, що припадає на ведучі колеса, а для бульдозерів на гусеничному ході, рівна загальній вазі бульдозера,  $G_{зч} = G$ ;  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення, який може бути прийнятий рівним 0,9 для гусеничних машин та 0,6 – для колісних машин [12].

Продуктивність бульдозера під час різання та переміщення ґрунту визначається за формулою:

$$П = \frac{3600 \cdot V_{np} \cdot K_g \cdot K_y \cdot K_n}{T_{ч} \cdot K_p}, \quad (14)$$

де  $K_g$  – коефіцієнт використання бульдозера за часом,  $K_g = 0,8 \dots 0,85$ ;  $K_y$  – коефіцієнт, що враховує вплив нахилу місцевості на продуктивність бульдозера (табл. 4).

$K_p$  – коефіцієнт розпушення ґрунту,  $K_p = 1,05 \dots 1,35$ ;  $K_n = 1 - 0,005 \cdot l_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує втрати під час переміщення ґрунту;  $l_{mp}$  – довжина переміщення (транспортування) ґрунту, м;  $T_{ч}$  – тривалість робочого циклу.

$$T_y = \frac{l_p}{g_p} + \frac{l_{mp}}{g_{mp}} + \frac{l_p + l_{mp}}{g_{xx}} + t_{nom},$$

де  $l_p$  – довжина шляху різання, м;  
 $g_p$  – швидкість руху бульдозера під час різання ґрунту,  $g_p = 0,4 \dots 0,5$  м/с;  $g_{mp}$  – швидкість руху бульдозера під час переміщення ґрунту,  $g_{mp} = 0,9 \dots 1,0$  м/с;  $g_{xx}$  – швидкість зворотного (холостого) ходу трактора,  $g_{xx} = 1,1 \dots 1,2$  м/с;  $t_{nom}$  – загальний час, що затрачується на опускання відвала, на переключення передач та на розворот,  $t_{nom} = 25 \dots 26$  с.

$$l_p = \frac{V_{np}}{F} = \frac{V_{np}}{L \cdot h_{cp}} = \frac{2 \cdot V_{np}}{L \cdot (h_1 - h_2)},$$

де  $F$  – площа ґрунту, що зрізається, м<sup>2</sup>;  
 $h_{cp}$  – середня глибина різання, м;

$h_1$  – глибина різання на початку копання, м;  
 $h_2$  – глибина різання на кінцевому етапі копання, м.

$$h_1 = \frac{T - W_{nep}}{K \cdot L};$$

$$g_{mp} = \frac{N_{\text{дв}}}{P_{\text{кол}}} = \frac{0,9 \cdot N_{\text{дв}}}{W_{np} + W_{стр} + W_{nep}},$$

де  $N_{\text{дв}}$  – потужність двигуна базової машини, кВт;  $P_{\text{кол}}$  – колове зусилля на ведучих колесах тягача або на ведучих зірочках гусеничного трактора, що витрачається на переміщення (транспортування) ґрунту та бульдозера,  $P_{\text{кол}} = 1,1 \cdot T$ ;  $T$  – тягова сила, що використовується на переміщення (транспортування) ґрунту та бульдозера, кН.

Таблиця 4

**Значення коефіцієнта впливу нахилу місцевості на продуктивність бульдозера / Value coefficient of influence inclination locality on the productivity bulldozer**

Кут підйому, град.	$K_y$	Кут схилу, град.	$K_y$
0...5	1,00...0,67	0...5	1,00...1,33
5...10	0,67...0,50	5...10	1,33...1,94
10...15	0,5...0,40	10...15	1,94...2,25
		15...20	2,25...2,68

Узагальнений критерій оцінки технічного рівня варіанта конструкції машини на передпроектних етапах проектування  $\Pi_{NG}$  може бути визначений за формулою:

$$\Pi_{NG} = \frac{N_{\text{дв}} \cdot G}{\Pi^2}, \quad (15)$$

де  $N_{\text{дв}}$  – встановлена потужність базової машини, кВт;  $G$  – загальна маса бульдозера, т;  $\Pi$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/год.

**Висновок.** На основі тягового балансу розроблено алгоритм оптимізації геометричних параметрів відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації  $\Pi_{NG}$  залежно від потужності двигуна базової машини та фізико-механічних властивостей середовища, що розроблюється.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дорожные машины. Машины для земляных работ : монография / [Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг и др.] – Москва : Машиностроение, 1972. – 504 с.
2. Баловнев В. И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия : монография / [В. И. Баловнев]. – Москва: Машиностроение, 1981. – 224 с.
3. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : монография / [В. И. Баловнев]. – Москва : Высшая школа, 1982. – 335 с.
4. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет : учеб. для вузов / [Н. Я. Хархута, М. И. Капустин, В. П. Семенов, И. М. Эвентов]. – Ленинград : Машиностроение, 1976. – 472 с.
5. Строительные машины : монография / [Н. Г. Домбровский, Ю. Л. Картвелишвили, М. И. Гальперин]. – Москва : Машиностроение, 1976. – 391 с.

6. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами : монография / [А. Н. Зеленин]. – Москва : Машиностроение, 1968. – 376 с.
7. Машины для земляных работ : учеб. пос. для вузов / [А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов]. – Москва : Машиностроение, 1975. – 424 с.
8. Машины для земляних робіт : підручник / [Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. д. т. н., проф. Л. А. Хмари та д. т. н., проф. С. В. Кравця]. – Харків : ХНАДУ, 2014. – 548 с.
9. Машины для земляних робіт: навч. посіб. / [Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке, Л. В. Назаров, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін; під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця]. Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.
10. Машины для земляных работ : монография / [Ю. А. Ветров, А. А. Кархов, А. С. Кондра и др.]. – Киев : Высшая школа, 1976. – 368 с.
11. Навесное тракторное оборудование для разработки высокопрочных грунтов : монография / [Б. З. Захарчук, Г. А. Шлойдо, А. А. Яркин и др.]. – Москва : Машиностроение, 1979. – 191 с.
12. Проектирование машин для земляных работ. Под ред. А. М. Холодова. – Харьков : Высшая школа, 1986. – 272 с.
13. Землеройно-транспортные машины : монография / [А. М. Холодов, В. В. Ничке, Л. В. Назаров]. – Харьков : Высшая школа, 1982. – 192 с.
14. Шаммат Н. К. Основы BASIC и объектно-проектированного программирования : монография / [Н. К. Шаммат]. – Киев : Диалектика, 1996. – 448 с.
15. Шилдт Г. Н. Языки программирования : монография / [Г. Н. Шилдт]. – Санкт-Петербург, 1996. – 416 с.

## REFERENCES

1. Alekseeva T.V., Artemev K.A., Bromberg A.A. and oth. *Dorozhnyie mashinyi. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot* [Traveling machines. Machines for earthmovings]. Moscow : Engineering, 1972, 504 p. (in Russian).
2. Balovnev V.I. *Dorozhno-stroitelnyie mashinyi s rabochimi organami intensifitsiruyushego deystviya* [Trail builders with the working organs of intensifying action]. Moscow : Engineering, 1981, 224 p. (in Russian).
3. Balovnev V.I. *Modelirovanie protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochih organov dorozhno-stroitelnyih mashin* [Design of processes co-operating with the environment of working organs trail builders]. Moscow : High School, 1982, 335 p. (in Russian).
4. Harhuta N.Ya., Kapustin M.I., Semenov V.P. and Eventov I.M. *Dorozhnyie mashinyi. Teoriya, konstruktsiya i raschet. Uchebnik dlya vuzov* [Theory, construction and calculation. Textbook for institutions of higher learning]. Leningrad : Engineering, 1976, 472 p. (in Russian).
5. Dombrovskiy N.G., Kartvelishvili Yu.L. and Galperin M.I. *Stroitelnyie mashinyi* [Building machines]. Moscow : Engineering, 1976, 391 p. (in Russian).
6. Zelenin A.N. *Osnovy razrusheniya gruntov mehanicheskimi sposobami* [Bases of destruction soils mechanical methods]. Moscow : Engineering, 1968, 376 p. (in Russian).
7. Zelenin A.N., Balovnev V.I. and Kerov I.P. *Mashinyi dlya zemlyanyih rabot. Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Machines for earthmovings. Train aid for institutions higher learning]. Moscow : Engineering, 1975, 424 p. (in Russian).
8. Khmara L.A., Kravets S.V., Skoblyuk M.P. and oth. *Mashini dlya zemlyanih robit : pidruchnik* [Machines for earthmovings : textbook]. Edited by Dr. Sc. (Tech.), Prof. L.A. Khmara and Dr. Sc. (Tech.), Prof. S. V. Kravets. Kharkiv : KhNASU, 2014, 548 p. (in Ukrainian).
9. Khmara L.A., Kravets S.V., Niche V.V., Nazarov L.V., Skoblyuk M.P. and Nikitin V.G.; edited by Dr. Sc. (Tech.), Prof. L.A. Khmara and Dr. Sc. (Tech.), Prof. S. V. Kravets. *Mashini dlya zemlyanih robit : navchalniy posibnik* [Machines for earthmovings : textbook]. Rivne – Dnipropetrovsk – Kharkiv, 2010, 557 p. (in Ukrainian).
10. Vetrov Yu.A., Karhov A.A., Kondra A.S. and oth. *Mashinyi dlya zemlyanyih rabot* [Machines for earthmovings]. Kyiv : High School, 1976, 368 p. (in Russian).
11. Zaharchuk B.Z., Shloydo G.A., Yarkin A.A. and oth. *Navesnoe traktornoe oborudovanie dlya razrabotki vyisokoprochnyih gruntov* [Cover tractor equipment for development of durable soils]. Moscow : Engineering, 1979, 191 p. (in Russian).
12. *Proektirovanie mashin dlya zemlyanyih rabot* [Planning of machines for earthmovings]. Edited by A.M. Kholodov. Kharkiv : High School, 1986, 272 p. (in Russian).
13. Kholodov A.M., Niche V.V. and Nazarov L.V. *Zemleroyno-transportnyie mashinyi* [Earthmovers-transport machines]. Kharkiv : High School, 1982, 192 p. (in Russian).
14. Shammatt N.K. *Osnovy BASIC i ob'ektno-proektirovannogo programmirovaniya* [Bases of BASIC and objective-designed programming]. Kyiv : Dialektika, 1996, 448 p. (in Russian).
15. Shildt G.N. *Yazyiki programmirovaniya* [Programming languages]. Saint-Petersburg, 1996, 416 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 13.07.2019 р.

УДК 691.11:535.41

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.94.515

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕФОРМУВАННЯ ТА МІЦНОСТІ ДЕРЕВИНИ НА ВДАВЛЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ГОЛОГРАФІЧНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

ШЕХОРКІНА С. Є.<sup>1\*</sup>, к. т. н.,

КЕСАРІЙСЬКИЙ О. Г.<sup>2</sup>, к. т. н.

<sup>1\*</sup> 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 (095) 021-84-44, e-mail: [S\\_VT@ukr.net](mailto:S_VT@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

<sup>2</sup> ТОВ «Лабораторія комплексних технологій», вул. Іскровська, 1-а, 51413, Павлоград, Україна, тел. +38 (095) 394-42-23, e-mail: [algeo57k@gmail.com](mailto:algeo57k@gmail.com)

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Коректна оцінка несучої здатності з'єднань критично важлива для забезпечення надійності конструкції. Базовою величиною для розрахунку з'єднань дерев'яних конструкцій згідно чинних норм є характеристична міцність вдавнення з'єднувального елемента в масив деревини. Даний параметр може бути визначений за емпіричними формулами або шляхом стандартних експериментальних досліджень. Наразі існує широка база даних про результати експериментальної оцінки напружено-деформованого стану з'єднань дерев'яних конструкцій, яка охоплює визначення типу руйнування, руйнівне навантаження, міцність, залежності «навантаження–деформація» тощо. Тим не менше поєднання стандартних методів дослідження з нестандартними методиками дозволяє отримати більш детальну інформацію щодо характеру взаємодії елементів з'єднання. Реєстрація переміщень по поверхні або об'єму елемента можлива шляхом застосування методів оптичної фізики, наприклад, лазерної голографічної інтерферометрії. *Мета статті* – дослідження міцності та особливостей деформування деревини під впливом металевого нагеля із застосуванням методу лазерної голографічної інтерферометрії. *Висновки.* В результаті експериментальних досліджень отримані криві залежностей «навантаження–переміщення», руйнівні навантаження та максимальні переміщення для випробуваних зразків. На кожному етапі навантаження виконувалась реєстрація інтерферограм та отримано тривимірні графіки деформованої поверхні зразка, які наочно відображають характер та еволюцію взаємодії нагеля з деревиною. Отриманий комплекс даних щодо особливостей деформування, міцнісних характеристиках в подальших дослідженнях буде використано для розробки та верифікації розрахункової моделі болтового з'єднання дерев'яних елементів з урахуванням нелінійної роботи.

**Ключові слова:** з'єднання дерев'яних конструкцій; інтерферограми; міцність вдавнення; залежність «навантаження-переміщення»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА ВДАВЛИВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

ШЕХОРКИНА С. Е.<sup>1\*</sup>, к. т. н.,

КЕСАРИЙСКИЙ А. Г.<sup>2</sup>, к. т. н.

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: [S\\_VT@ukr.net](mailto:S_VT@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

<sup>2</sup> ООО «Лаборатория комплексных технологий», ул. Искровская, 1-а, 51413, Павлоград, Украина, тел. +38 (095) 394-42-23, e-mail: [algeo57k@gmail.com](mailto:algeo57k@gmail.com)

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Корректная оценка несущей способности соединений критически важна для обеспечения надежности конструкции. Базовой величиной для расчета соединений деревянных конструкций согласно действующих норм является характеристическая прочность вдавливания соединительного элемента в массив древесины. Данный параметр может быть определен по эмпирическим формулам или путем стандартных экспериментальных исследований. На данный момент существует широкая база данных о результатах экспериментальной оценки напряженно-деформированного состояния соединений деревянных конструкций, которая охватывает определение типа разрушения, разрушающую нагрузку, прочность, зависимости «нагрузка–деформация» и т. д. Тем не менее, сочетание стандартных методов исследования с нестандартными методиками позволяет получить более детальную информацию о характере взаимодействия элементов соединения. Регистрация полей перемещений по поверхности или объему элемента возможна с применением методов оптической физики, например, лазерной голографической интерферометрии.

**Цель статьи** – исследование прочности и особенностей деформирования древесины под действием металлического нагеля с применением метода лазерной голографической интерферометрии. **Выводы.** В результате экспериментальных исследований получены кривые зависимостей «нагрузка–перемещение», разрушающие нагрузки и максимальные перемещения для испытываемых образцов. На каждом этапе нагружения выполнялась регистрация интерферограмм и получены трехмерные графики деформированной поверхности образца, которые наглядно отображают характер и эволюцию взаимодействия нагеля с древесиной. Полученный комплекс данных об особенностях деформирования, прочностных характеристиках в дальнейших исследованиях будет использован для разработки и верификации расчетной модели болтового соединения деревянных элементов с учетом нелинейной работы.

**Ключевые слова:** соединения деревянных конструкций; интерферограммы; прочность вдавливания; зависимость «нагрузка-перемещение»

## INVESTIGATION THE PECULIARITIES OF DEFORMATION AND STRENGTH OF TIMBER USING LASER INTERFEROMETRY METHOD

SHEKHORKINA S.Ye.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
KESARIISKYI A.H.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*

<sup>1\*</sup> 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 (095) 021-84-44, e-mail: [S\\_VT@ukr.net](mailto:S_VT@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-4377-3746

<sup>2</sup> “Laboratory of Complex Technologies” Ltd, 1-A, Iskrovskaya St., 51413, Pavlohrad, Ukraine, tel. +38 (095) 394-42-23, e-mail: [algeo57k@gmail.com](mailto:algeo57k@gmail.com)

**Abstract. Problem statement.** Correct assessment of load carrying capacity of connections is crucial for ensuring the structure reliability. The initial parameter for the calculation of load carrying capacity of the timber structures connections is the characteristic embedment strength (the strength of timber massive under dowel penetration). This characteristic can be determined using empiric formulas or through standard experimental investigation. Currently a wide database on the results of the experimental assessment of stress-strain state of timber structures connections exists, which covers the questions of determination of failure patterns, failure load, strength, “load-deformation” dependences etc. Nevertheless, a combination of the standard investigation methods with non-standard techniques allows obtaining more detailed information about the interaction between elements of the connection. The registration of the displacement fields of the surface or volume of the element is possible using optical physics methods, e.g. laser holographic interferometry. **The purpose of the article** is to investigate the strength and peculiarities of the deformation of timber under the influence of metal dowel using laser holographic interferometry method. **Conclusion.** As a result of experimental investigations, load-displacement curves, failure loads and maximum displacements were obtained for the samples tested. At each loading stage, interferograms were recorded and three-dimensional graphs of the deformed surface of the sample were obtained, which clearly represent the nature and evolution of the interaction between dowel and timber. The resulting complex of data on the deformation and strength characteristics in further studies will be used to develop and verify the design model of the dowel connection of timber elements taking into account nonlinear work.

**Keywords:** timber structures joints; interferograms; embedment strength; «load-displacement» dependence

**Постановка проблеми.** Інформація щодо реального характеру роботи та коректна оцінка несучої здатності з'єднань критично важливі для забезпечення надійності та ефективності конструкції в цілому. На сьогоднішній день вимоги щодо забезпечення несучої здатності з'єднань дерев'яних конструкцій визначають чинні в Україні норми проектування [1]. Базовою величиною для розрахунку є характеристична міцність вдавлення з'єднувального елемента в масив деревини. Даний параметр може бути визначений за

нормах [1] або шляхом стандартних експериментальних досліджень згідно [2].

Існуючі дослідження з'єднань дерев'яних конструкцій охоплюють визначення типу руйнування, міцність, залежності «навантаження-деформація» тощо для різних порід деревини та типів з'єднувальних елементів. Так в роботі [3] представлені результати оцінки міцності вдавлення паралельно волокнам деяких м'яких та твердих порід деревини, а також досліджено взаємозалежність міцності вдавлення та міцності на стиск. Автори дослідження [4] приводять дані для

деревини сосни паралельно, перпендикулярно та під кутом до волокон. В роботі [5] експерименти виконуються відповідно до методик за різними стандартами з аналітичним порівнянням співставності отриманих даних. Автори [6] експериментальні значення міцності вдавнення та залежності «навантаження-деформація» використовують в якості вихідних параметрів для моделювання роботи деревини в зоні взаємодії з нагелем. Таким чином, наразі існує широка база даних про результати експериментальної оцінки щодо характеру взаємодії деревини та з'єднувальних елементів, а також міцнісних та деформаційних параметрів з'єднання.

Тим не менше у випадках оптимізації існуючих або розробки нових типів з'єднань необхідно враховувати фактичний характер роботи з'єднання. Застосування лише стандартних методик веде до нестачі інформації про реальний розподіл напружень в з'єднанні і характер його деформування.

Поєднання стандартних методів дослідження з нестандартними методиками необхідне для отримання більш детальної інформації про роботу з'єднання. Розуміння «внутрішньої» роботи елементів конструкції потребує застосування більш інформативних методів дослідження, що забезпечують реєстрацію напружено-деформованого стану у вигляді полів по поверхні або об'єму елемента. Для вирішення таких задач використовуються методи оптичної фізики, наприклад, голографічна інтерферометрія [7–9]. Особливістю методу є висока точність та можливість проведення вимірювань на об'єктах без спеціальної підготовки контрольованих поверхонь, а також простота інтерпретації отриманих даних. В галузі будівельних конструкцій і матеріалів голографічні методи використовуються для неруйнівного контролю технічного стану, дослідження мікро- та наноструктури тощо. Голографічні методи дозволяють візуалізувати рельєф поверхні об'єкта внаслідок деформації, розподіл внутрішніх

напружень, утворення мікротріщин, зміну модуля пружності. З огляду на це, дані експериментальних досліджень голографічними методами можуть бути використані в якості критерію верифікації скінченноелементних моделей елементів конструкцій або з'єднань.

Метод реєстрації полів переміщень засобами лазерної інтерферометрії для експериментального дослідження нагельних з'єднань дерев'яних елементів було розроблено та апробовано авторами статті в роботі [10].

Метою даної роботи є дослідження міцності та особливостей деформування деревини під впливом металевого нагеля із застосуванням методу лазерної голографічної інтерферометрії.

**Методика досліджень.** Для оцінки міцності та деформативності деревини в зоні взаємодії з металевим нагелем (болтом) були виконані експериментальні дослідження згідно [2] в комбінації з методом лазерної голографічної інтерферометрії, який дозволяє отримувати дані про фактичний характер взаємодії елементів з'єднання у вигляді полів переміщень по поверхні зразка (інтерферограм).

Стандартна методика випробувань полягає в наступному. Спочатку шляхом попередніх випробувань визначається очікуване максимальне навантаження  $F_{max,est}$ . При випробуванні величину навантаження поступово збільшують до значення  $0.4 F_{max,est}$  і утримують протягом 30 с. Після цього навантаження зменшують до  $0.1 F_{max,est}$  та знову утримують протягом 30 с. Далі зразок навантажують до руйнування. Вважається, що зразок зруйнований при руйнуванні деревини або при досягненні величини деформацій 5 мм. Графік навантаження зразка приведено на рисунку 1.

Програма експерименту включала випробування 4 стандартних зразків. Зразок представляв собою призму розмірами поперечного перерізу  $120 \times 30$  мм, висотою 180 мм, виготовлений з деревини сосни. В кожному зразку був попередньо

висвердлений отвір діаметром 13 мм, в який вставлявся металевий болт діаметром 12 мм.

Для визначення очікуваного максимального навантаження  $F_{max,est}$  на одному зразку було проведено попереднє випробування до руйнування. Отримане значення склало  $F_{max,est}=19.5$  кН.

При випробуваннях вимірювалось вертикальне зміщення нагеля (болта) відносно випробуваного зразка між металевою оснасткою, яка утримує болт, та крайніми точками на рівні центральної осі болта.

Для забезпечення одночасної реєстрації інтерферограм поверхні зразка була розроблена оптична схема, загальний вигляд якої приведено на рисунку 1.

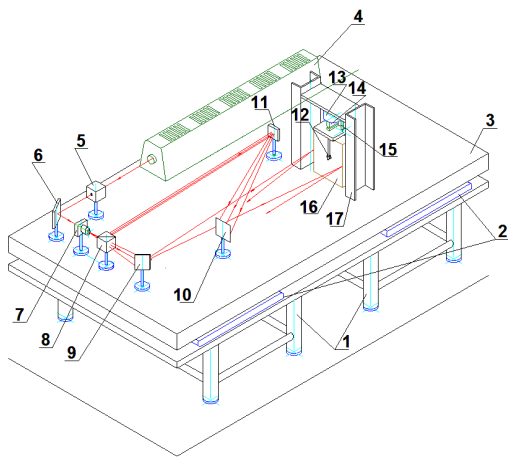


Рис. 1. Просторова схема реєстрації голографічних інтерферограм: 1 – опори голографічної установки; 2 – подушки-пневмоамортизатори; 3 – віброзахисна платформа; 4 – лазер; 5 – оптичний затвор; 6, 9, 11 – дзеркала; 7 – мікрооб’єктив; 8 – світлоподільвач; 10 – фотопластинка з тримачем; 12 – штифт з силовими штоками; 13 – гідроциліндр; 14 – датчик зусилля; 15 – датчик осьового переміщення; 16 – зразок; 17 – навантажуючий пристрій /

Fig. 1. 3D scheme of the equipment for the registration of the holographic interferograms: 1 – equipment supports; 2 – pneumatic damper pads; 3 – vibroprotected platform; 4 – laser; 5 – light shutter; 6, 9, 11 – mirrors; 7 – micro lens; 8 – beam splitter; 10 – photographic plate with a holder; 12 – dowel with force transfer rods; 13 – hydraulic cylinder; 14 – force sensor; 15 – longitudinal displacement sensor; 16 – sample; 17 – loading device

Для проведення досліджень використовувалась голографічна установка, змонтована на сталевій базовій плиті розміром 1 300 × 2 400 мм, що розміщена на

пневмоамортизаторах. В якості джерела когерентного випромінювання було використано газовий He–Ne лазер ЛГН-215, потужністю 50 мВт. Реєстрація голографічних інтерферограм проводилась з використанням фотопластин ПФГ-01, що мають розподільну здатність 2000 лин/мм та забезпечують отримання інтерферограм з дифракційною ефективністю не менше 35 %.

Для виконання експериментів було виготовлено спеціальне оснащення, яке забезпечує передачу зусилля від гідроциліндра до нагеля. Для забезпечення мінімального затінення досліджуваної поверхні, вертикальні силові штоки (поз. 3 на рис. 2) виконані з високоміцної круглої сталі малого діаметру. Передача навантаження на нагель виконувалась через напівкільцевий ложемент (поз. 2 на рис. 2) з боку досліджуваної поверхні дозволило зареєструвати поля переміщень в зоні взаємодії нагеля та деревини. Розміщення датчика переміщень (поз. 6 на рис. 2) забезпечило оптичний доступ досліджуваної поверхні, що важливо для вивчення особливостей зони деформування.

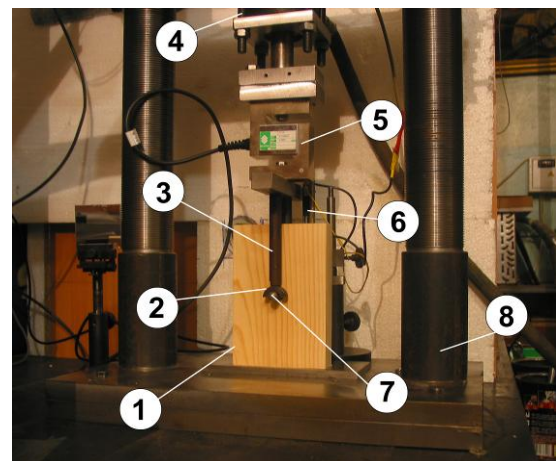


Рис. 2. Загальний вигляд зразка для випробувань на вдавлювання: 1 – зразок, 2 – ложемент штифта, 3 – силовий шток, 4 – гідроциліндр, 5 – датчик зусилля, 6 – датчик осьового переміщення, 7 – нагель, 8 – навантажувальний пристрій /

Fig. 3. A general view of the sample for the embedment tests: 1 – sample, 2 – lodgment of the dowel, 3 – stock for force transfer, 4 – hydraulic cylinder, 5 – force sensor, 6 – longitudinal displacement sensor, 7 – dowel, 8 – loading equipment



**Результати.** В результаті випробувань були отримані криві залежностей «навантаження–переміщення» для випробуваних зразків. Характерний графік приведений на рисунку 3. На графіку чітко виявлена ділянка, яка відповідає максимальному навантаженню. За цією ділянкою слідує поступове падіння навантаження, яке супроводжується наростанням переміщень. Це пов'язано з порушенням мікроструктури деревини, формуванням та ростом тріщин під поверхнею болта, що відповідає руйнуванню зразка. Руйнування зразків відбувалося внаслідок досягнення граничних деформацій з утворенням тріщин.

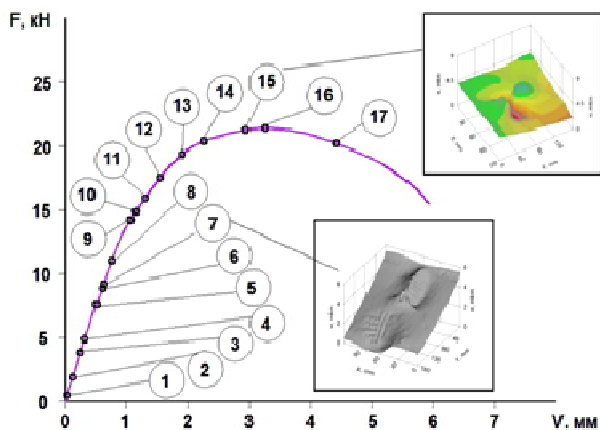


Рис. 3. Характерний графік залежності «навантаження–переміщення» та 3D-візуалізація деформованої поверхні зразка / Fig. 3. Characteristic “load–displacement” diagram and 3D-visualisation of the deformed surface of the sample

Завантаження зразка проводилось поетапно. На кожному етапі навантаження виконувалась реєстрація інтерферограм. На основі отриманих інтерферограм отримано тривимірні графіки деформованої поверхні зразка (візуалізація переміщень) (рис. 3). Отримані інтерферограми (рис. 4) наочно відображають характер та еволюцію взаємодії болта з деревиною. На стадії 1-2 йде опресування контактуючих поверхонь об'єкта дослідження. По траєкторії руху нагеля (уздовж поздовжньої осі зразка) відбувається «розпирання» дерев'яного бруса в нижній частині.

Стадії 3 та 4 відповідають перерозподілу зон деформації, формується

надійний контакт опорної поверхні зразка з нерухомою основою та починається формування зони взаємодії під нагелем. На стадіях 5 та 6 спостерігаються процеси псевдотекучесті через локальну деструкцію на мікрорівні матеріалу. Інтерферограми мають низький контраст та зони втрати зображення, що викликано відсутністю стабільності положення досліджуваної поверхні під час експонування. Протягом стадій 7–11 формується деформаційний «гребінь» уздовж вертикальної осі зразка. На стадіях 12 та 13 з'являються перші ознаки формування аномальних зон деформації зразка. Стадії 14–15 відповідають початку руйнування зразка, яке починалося з видимого сплюснення волокон деревини під поверхнею болта. На стадії 16 рівень деструкції починає позначатися на несучій здатності зразка, утворюються тріщини. По поверхні контакту йде безперервна локальна деформація, що проявляється як зона втрати інтерференційних смуг. Деформації продовжують рости, що обумовлюється порушенням макроструктури деревини та розвитком тріщин. Максимальне навантаження досягалося в межах 3...4 мм вертикального переміщення.

На основі отриманих в результаті експериментів величин руйнівного навантаження було визначено міцність вдавнення  $f_h$  [2]:

$$f_h = F_{max}/dt, \quad (1)$$

де  $F_{max}$  – максимальне навантаження, Н;  $d$  – діаметр нагеля, мм;  $t$  – товщина зразка, мм.

Для оцінки отриманих експериментальних даних міцності вдавнення було виконано порівняння з теоретичним значенням  $f_{h, теор}$  за емпіричною залежністю, згідно [1]:

$$f_{h, теор} = 0.082(1 - 0.01d)\rho, \quad (2)$$

де  $d$  – діаметр нагеля, мм;  $\rho = 470 \text{ кг/м}^3$  – густина деревини випробуваних зразків.

Отримані дані приведені в таблиці.

Таблиця

**Результати визначення міцності вдавнення /  
The results of determination of the embedment  
strength**

Зразок	$F_{max}$ , кН	$f_h$ , МПа	$f_{h, теор.}$ , МПа	$k_3=100(f_h \cdot f_{h, теор.}) / f_{h, теор.}^2$ , %
0	19.5	54.2	33.9	37.4
1	14	38.9		12.8
2	21	58.3		41.8
3	20	55.5		38.9

Результати випробувань мали задовільну повторюваність. Міцність вдавнення зразків деревини в усіх випадках перевищує теоретичне значення згідно вимог проектування. Для трьох зразків міцність вдавнення становила 54,2...58,3 МПа, що на 37,4...41,8 % більше теоретично визначеної величини. Виключення становив зразок № 1, міцність якого (38,9 МПа) найбільш близька до теоретичної.

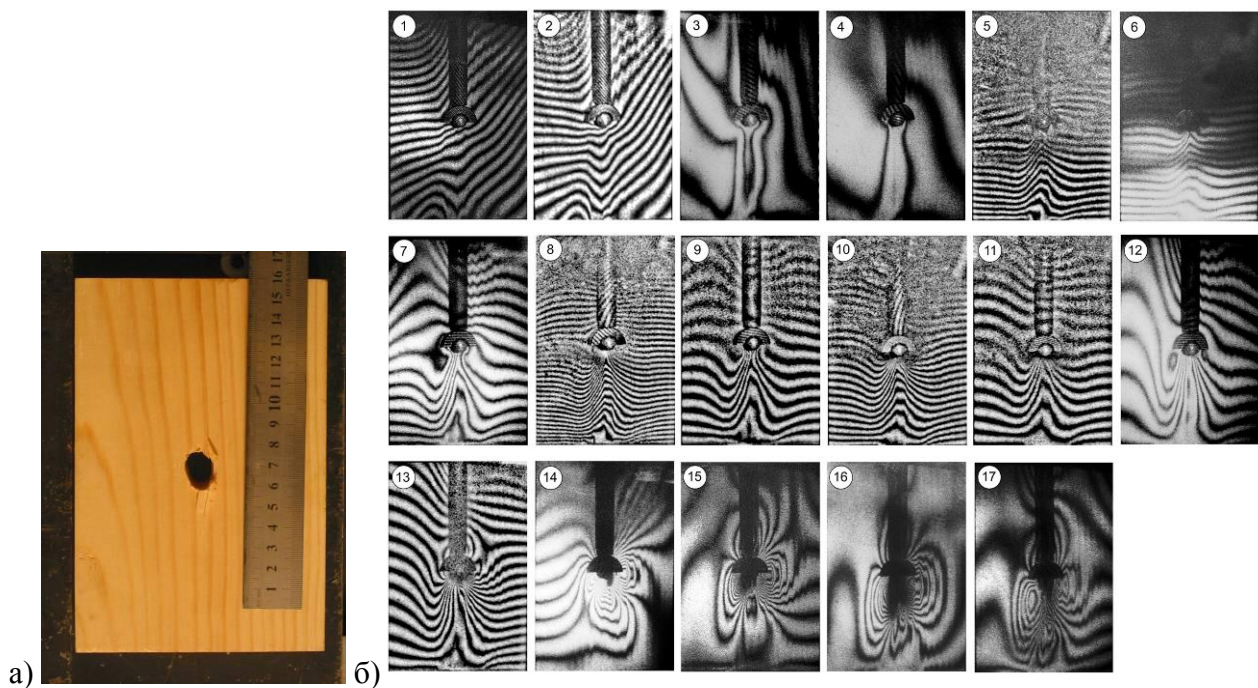


Рис. 4. Характер руйнування зразка (а) та ряд інтерферогам поверхні зразка, отриманих при поетапному навантаженні (б) / Fig. 4. The character of sample failure (a) and the row of interferograms obtained for step-by-step loading (б)

**Висновки.** Для оцінки міцності та деформативності деревини в зоні взаємодії з металевим нагелем (болтом) були виконані експериментальні дослідження з використанням стандартних методик в поєднанні з методом оптичної фізики (лазерної голографічної інтерферометрії).

В результаті випробувань були отримані криві залежностей «навантаження–переміщення» для випробуваних зразків. Максимальне навантаження досягалося в межах 3...4 мм вертикального переміщення. Міцність вдавнення деревини становила 54,2...58,3 МПа (для одного зразка 38,9 МПа).

На кожному етапі навантаження виконувалась реєстрація інтерферогам, які наочно відображають характер та еволюцію взаємодії болта з деревиною. На основі отриманих інтерферогам отримано тривимірні графіки деформованої поверхні зразка (візуалізація переміщень).

Отриманий комплекс даних щодо особливостей взаємодії деревини та нагеля, криві залежностей «навантаження–переміщення» та міцність вдавнення деревини в подальших дослідженнях буде використано для розробки та верифікації розрахункової моделі болтового з'єднання дерев'яних елементів з урахуванням нелінійної роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ, 2017. – 111 с.
2. EN 383:2007. Timber structures. Test methods. Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners. – European Committee for Standardization (CEN). – Brussels, 2007. – 11 с.
3. Glišović I. Embedment test of wood for dowel-type fasteners / I. Glišović, B. Stevanović, T. Kočetov-Mišulić // Wood Research. – Vol. 57 (4). – 2012. – Pp. 639–650.
4. Henrique de Almeida D. H. Embedment Strength of Pinus sp. Wood to Metal Pins / Henrique de Almeida D. H. et al. // Advanced Materials Research. – Vol. 884–885. – 2014. – Pp. 653–656.
5. Molina J. C. Embedment strength of steel dowel in wood specimens according to ABNT NBR 7190:1997 and ASTM D5764: 2007 Standards. / J. C. Molina, Rodrigues de Oliveira D., M. Negreli, E. A. F. Friedmann Pallarolas // Ingeniare. Rev. chil. ing. – Vol. 25 (3). – 2017. – Pp. 492–500.
6. Cristóvão L. dos Santos Embedment strength characterization of pine wood. Numerical study of the non-linear behaviour / Cristóvão L. dos Santos, Abílio M. P. de Jesus, José J. L. Morais // Ciência & Tecnologia dos Materiais. – Vol. 27, iss. 1. – 2015. – Pp. 15–26.
7. Jones R. Holographic and Speckle Interferometry. A Discussion of the Theory, Practice and Application of the Techniques. Cambridge et al. / R. Jones, C. Wykes // Cambridge University Press. – 1983. – 342 p.
8. Голографические интерференционные методы измерения деформаций : монография / [Ю. И. Островский, В. П. Щепинов, В. В. Яковлев]. – Москва : Наука, 1988. – 248 с.
9. Александров Е. Б. Исследование поверхностных деформаций тел с помощью голограммной техники / Е. Б. Александров, А. М. Бонч-Бруевич // ЖТФ. – 1967. – Т. 37, вып. 2. – С. 360–369.
10. Savytskyi M. Investigation of nailed timber connections using the laser interferometry method / M. Savytskyi, S. Shekhorkina, A. Kesariyskyi, V. Kondrashchenko, S. Dukat // Slovak Journal of Civil Engineering. – Vol. 26 (4). – 2018. – Pp. 32–38.

## REFERENCES

1. *DBN B.2.6-161:2017 Derev'yani konstrukcii. Osnovny polozhennya* [Timber structures. General aspects]. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, Kyiv, 2017, 11 p. (in Ukrainian).
2. EN 383:2007. Timber structures. Test methods. Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners. – European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2007, 11 p.
3. Glišović I., Stevanović B. and Kočetov-Mišulić T. Embedment test of wood for dowel-type fasteners. Wood Research, vol. 57 (4), 2012, pp. 639–650.
4. Henrique de Almeida D. H. et al. Embedment Strength of Pinus sp. Wood to Metal Pins. Advanced Materials Research, vol. 884–885, 2014, pp. 653–656.
5. Molina J.C., Rodrigues de Oliveira D., Negreli M. and Friedmann Pallarolas E.A.F. Embedment strength of steel dowel in wood specimens according to ABNT NBR 7190:1997 and ASTM D5764: 2007 Standards. Ingeniare. Rev. chil. ing., vol. 25 (3), 2017, pp. 492–500.
6. Cristóvão L. dos Santos, Abílio M.P.de Jesus and José J.L.Morais. Embedment strength characterization of pine wood. Numerical study of the non-linear behaviour. Ciência & Tecnologia dos Materiais, vol. 27, iss. 1, 2015, pp. 15–26.
7. Jones R. and Wykes C. Holographic and Speckle Interferometry. A Discussion of the Theory, Practice and Application of the Techniques. Cambridge et al., Cambridge University Press, 1983, 342 p.
8. Ostrovskiy Yu., Schepinov V. and Yakovlev V. *Golograficheskie interferencionnye metody izmereniya deformatsiy* [Holographic interference methods of measuring deformations]. Moscow : Science, 1988, 248 pp. (in Russian).
9. Aleksandrov Yu. and Bonch-Bruyevich A. *Issledovanie poverhnostnykh deformatsiy tel s pomoschyu gologramnoy tehniky* [Investigation of the surface deformations of bodies with the help of a hologram technique]. Zhurnal tehnikeskoy fiziki [Journal of Technical Physics]. Vol. 37, 1967, pp. 360–369 (in Russian).
10. Savytskyi M., Shekhorkina S., Kesariyskyi A., Kondrashchenko V. and Dukat S. Investigation of nailed timber connections using the laser interferometry method. Slovak Journal of Civil Engineering, vol. 26 (4), 2018, pp. 32–38.

Надійшла до редакції 18.07.2019 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 2002 (редакційно-видавничий відділ),  
☎ +38(050) 452-43-63  
e-mail: [mitomdnipro1997@gmail.com](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com)

Підписано до друку 02.08.2019 р. Формат 60×84 1/8.  
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 6,19. Умовн. фарб.-відб. арк. 6,19.  
Обл.-видавн. арк. 12,38. Наклад 300 прим. Зам. 150

---

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 ГБУЗ ПГАСА.

Адрес редакции:

✉ Украина, 49600, г. Днипро, ул. Чернышевского, 24-а,  
комната 558 (ответственный секретарь), комната 2002 (редакционно-издательский отдел).  
☎ +38(050) 452-43-63  
e-mail: : [mitomdnipro1997@gmail.com](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com)

Подписано к печати 02.08.2019 г. Формат 60×84 1/8.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,19. Усл. кр.-отт. л. 6,19.  
Уч.-изд. л. 12,38. Тираж 300 экз. Зак. 150

---

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 2002 (Editorial Department  
24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine).  
☎ +38(050) 452-43-63  
e-mail: : [mitomdnipro1997@gmail.com](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com)

Sent to press on 02 September 2019. Format 60×84 1/8.  
Offset printing. Conventional quire 6,19. Conventional colour imprints 6,19.  
Publisher's signatures 12,38. Number of copies 300. Order 150