

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ
ЖУРНАЛ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (007)
січень – лютий 2022

Дніпро 2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор	Микола САВИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Заступник головного редактора	Владислав ДАНИШЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Відповідальний секретар	Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Випусковий редактор	Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. М. М. Біляєв, д-р техн. наук, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро. В. І. Большаков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. М. Волчук, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків. С. І. Губенко, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. М. Дерев'янко, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. І. Криворучко, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. О. О. Лапшин, д-р техн. наук, Криворізький національний університет, Кривий Ріг. В. П. Мироненко, д-р арх., Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків. М. М. Налисько, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. І. Проскуряков, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. В. Л. Сєдін, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. В. Товбич, д-р арх., Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ. О. В. Харлан, к-т арх., ПДАБА, Дніпро. С. В. Шатов, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Едіт Барна, к-т техн. наук, Будапештський технічно-економічний університет, Будапешт (Угорщина). Анна Бач, д-р арх., Вроцлавський університет, Вроцлав (Польща). Александрс Корякінс, д-р техн. наук, Ризький технічний університет, Рига (Латвія). В. І. Куксенко, к-т техн. наук, Управління з атомної енергетики Великобританії, Оксфорд (Великобританія). Богуслав Подхалянський, д-р арх., Краківський політехнічний інститут імені Тадеуша Костюшка, Краків (Польща).

Науково-практичний журнал входить	до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури за спеціальностями 132, 191, 192, 194, 263 згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 (Додаток 3).
Свідectво про Державну реєстрацію	друкованого засобу масової інформації – серія KB № 24586-14526 ПР – видане Міністерством юстиції України 09 жовтня 2020 р.
Засновник та видавець	Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (код за ЄДРПОУ 02070772). Виходить 6 разів на рік.
Рекомендовано до друку	вченою радою академії, протокол № 9 від 22.02.2022 р.
Сайт видання	http://uajcea.pgasa.dp.ua
Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний журнал	Інформаційно-аналітичні системи: 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), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського.
ISSN	2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online)
	Художній і технічний редактор Сергій МОЇСЄНКО Перекладач Олена ЛЯПЧЕВА Редактор та коректор Валентина МАЛОВИК

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

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

UKRAINIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

№ 1 (007)

January – February 2022

Dnipro 2022

EDITORIAL STAFF:

<i>Chief Editor</i>	Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Deputy Chief Editor</i>	Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Secretary</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Editor</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF:

A. S. Belikov, Doctor of Engineering Science, *Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro*. M. M. Biliaiev, Doctor of Engineering Science, *Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro*. V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Volchuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. D. F. Honcharenko, Doctor of Engineering Science, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv*. S. I. Gubenko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. I. Kryvoruchko, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. O. O. Lapshyn, Doctor of Engineering Science, *Kyryvi Rih National University, Kyryvi Rih*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv*. M. M. Nalysko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. I. Proskuriakov, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. V. Tovbych, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv*. O. V. Kharlan, Candidate of Architecture, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Shatov, Doctor of Engineering Science, *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 Korjajkins, Doctor of Engineering Science, *Riga Technical University, Riga, Latvia*. V. I. Kuksenko, PhD, Candidate of Engineering Science, *UK Atomic Energy Authority, Oxford, UK*. Boguslaw Podhalyanski, Doctor of Architecture, *Cracow University of Technology, Cracow (Poland)*.

Scientific-Practical Journal is included in	List of scientific professional publications of Ukraine (category "B"), where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture (by specialty 132, 191, 192, 194, 263) can be published according to the Resolution of the Ministry of Science and Education of Ukraine No. 157 dated 09.02.2021 (Appendix no. 3).
Certificate of State Registration	of the Print Media – Series KB No. 24586-14526 IIP – issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated October 09, 2020.
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. 9 from 22.02.2022
Journal website	http://uajcea.pgasa.dp.ua
Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and e-libraries	Information and analytical systems: 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), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Vernadsky National Library of Ukraine.
ISSN	2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online)

Art & Technical Editor Serhii MOISEIENKO

Translator Olena LIAPICHEVA

Editor & Proofreader Valentyna MALOVYK

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

Барабаш М. С., Костира Н. О., Томашевський А. В. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА МІЦНОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІНСТРУМЕНТАМИ ПК «ЛІРА – САПР».....	7
Беліков А. С., Шаломов В. А., Варяничко М. О., Маслова А. С. ШУМОЗАХИСТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКРАНІВ «ЛАМАНОГО» ПРОФІЛЮ.....	15
Білоконь А. І., Несевря П. І., Наумов В. О. ПРЕДМЕТНА ГАЛУЗЬ ДЕМОНТАЖУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД І ПЕРЕДУМОВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
Демиденко А. С., Малік Т. В. АКТУАЛЬНІСТЬ «МАЛИХ» САДІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ПРИВАТНОМУ САДОВО-ПАРКОВОМУ БУДІВНИЦТВІ.....	31
Дерев'янко В. М., Мосьпан В. І., Колохов В. В., Дзюбан О. В., Мальцев С. В. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ТЕС У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	38
Колохов В. В., Мацевич І. М., Мосьпан В. І., Кріль Р. М., Тимошенко О. А. ВПЛИВ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ НА СТРУКТУРУ КОНГЛОМЕРАТІВ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	45
Кравчуновська Т. С., Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С. ПРОПОЗИЦІЇ РІШЕНЬ ІЗ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ НА ВОДІ В УКРАЇНІ.....	55
Чашин Д. Ю., Рахманін О. А., Хіль Д. В. УПРОВАДЖЕННЯ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ОСНОВИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ В КЕРУВАННІ БУДІВНИЦТВОМ.....	63
Шатов С. В., Маценко О. М., Скрипка Є. О., Більговський Д. В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТРАНШЕЙ У СКЛАДНИХ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ НА ОСНОВІ ТЕХНІЧНИХ ІННОВАЦІЙ.....	71
Шатов С. В., Савицький М. В., Голубченко О. І., Мацюк І. М., Шляхов Е. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТНИХ РІШЕНЬ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ 3D-ДРУКУ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ.....	80

CONTENT

Barabash M.S., Kostyra N.O., Tomashevskiy A.V. STRESS-STRAIN STATE AND STRENGTH CALCULATIONS OF DAMAGED STRUCTURES USING “LIRA – SAPR” SOFTWARE TOOLS.....	7
Bielikov A.S., Shalomov V.A., Varianichko M.O., Maslova A.S. NOISE PROTECTION USING “BROKEN” PROFILE SCREENS.....	15
Bilokon A.I., Nesevrya P.I., Naumov V.O. SUBJECT AREA OF DISMANTLING BUILDINGS AND STRUCTURES AND BACKGROUND FOR FURTHER RESEARCH.....	21
Demydenko A.S., Malik T.V. RELEVANCE OF “SMALL” GARDENS IN THE URBAN ENVIRONMENT AND PRIVATE GARDEN AND PARK BUILDING.....	31
Derevianko V.M., Mospan V.I., Kolokhov V.V., Dziuban O.V., Maltsev S.V. MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH ON THE USE OF TES ASH IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS.....	38
Kolokhov V.V., Matsevykh I.M., Mospan V.I., Krol' R.M., Tymoshenko O.A. EFFECT OF THE COMPACTION PROCESS ON THE CONGLOMERATE STRUCTURE AT PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS.....	45
Kravchunovska T.S., Diachenko L.Yu., Diachenko O.S. PROPOSALS OF SOLUTIONS OF THE PROJECT DEVELOPMENTS OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS ON WATER IN UKRAINE.....	55
Chashyn D.Yu., Rakhmanin O.A., Khil D.V. INTRODUCTION OF BIM-TECHNOLOGIES AS A BASIS FOR CREATION OF COMPLEX INFORMATION MODELS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT.....	63
Shatov S.V., Matsenko O.M., Skrypka Yev.O., Bilhovskiy D.V. INCREASING THE EFFICIENCY OF TRENCH PRODUCTION IN DIFFICULT NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS BASED ON TECHNICAL INNOVATIONS.....	71
Shatov S.V., Savytskyi M.V., Golybchenko A.I., Matsyuk I.M., Shlyahov E.M. RESEARCH OF OPTIONAL EQUIPMENT SOLUTIONS FOR 3D-PRINTING OF BUILDING PRODUCTS.....	80

УДК 624.046.2:624.046.5:624.072.2

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.7.827

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА МІЦНОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІНСТРУМЕНТАМИ ПК «ЛІРА – САПР»

БАРАБАШ М. С.^{1*}, *докт. техн. наук, проф.*,
КОСТИРА Н. О.², *канд. техн. наук, доц.*,
ТОМАСHEВСЬКИЙ А. В.³, *здоб.*

^{1*} Кафедра комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, 03058, Київ, Україна, e-mail: bmari.lira@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2157-521X

² Кафедра комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, 03058, Київ, Україна, e-mail: natalia.kostyra@npp.nau.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5934-9563

³ Кафедра комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, 03058, Київ, Україна, e-mail: tomashevsky.a.v@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5960-2100

Анотація. Наведено результати обстеження та оцінювання несної здатності пошкоджених залізобетонних конструкцій ригелів багатоповерхового гаража. Робота нормальних перерізів пошкоджених ригелів на згин моделювалася за допомогою нелінійної деформаційної моделі системи «Конструктор перерізів» програмного комплексу «ЛІРА – САПР». Нелінійна деформаційна модель, реалізована в найбільш загальному числовому вигляді, дозволяє опрацювати різноманітні форми та конфігурації армування перерізів із різноманітними нелінійними діаграмами деформування матеріалів, що дозволяє моделювати таким чином пошкоджені перерізи експлуатованих конструкцій, враховуючи ефекти корозії матеріалів. Наведено результати числового моделювання пошкодженого перерізу за вказаною технологією з метою визначення відсотка зниження несної здатності в пошкоджені стані порівняно з початковим. Також продемонстровано спосіб застосування цієї технології для підбору параметрів перерізу за підсилення з метою відновлення несної здатності конструкції.

Ключові слова: обстеження будівель; моделювання пошкодження конструкцій; оцінювання міцності; нелінійна деформаційна модель

STRESS-STRAIN STATE AND STRENGTH CALCULATIONS OF DAMAGED STRUCTURES USING “LIRA – SAPR” SOFTWARE TOOLS

BARABASH M.S.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KOSTYRA N.O.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
TOMASHEVSKYI A.V.³, *External Cand.*

^{1*} Department of Computer Technologies of Airport Construction and Reconstruction, National Aviation University, 1, Lubomyr Husar Ave., 03058, Kyiv, Ukraine, e-mail: bmari.lira@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2157-521X

² Department of Computer Technologies of Airport Construction and Reconstruction, National Aviation University, 1, Lubomyr Husar Ave., 03058, Kyiv, Ukraine, e-mail: natalia.kostyra@npp.nau.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5934-9563

³ Department of Computer Technologies of Airport Construction and Reconstruction, National Aviation University, 1, Lubomyr Husar Ave., 03058, Kyiv, Ukraine, e-mail: tomashevsky.a.v@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5960-2100

Abstract. This paper presents the results of inspection and assessment of the bearing capacity of damaged reinforced concrete beams of a multi-storey garage. Bending process of normal cross-sections of damaged beams was modeled using a nonlinear deformation model of the system “Cross-Section Designer” by “LIRA–SAPR” software package. The nonlinear deformation model, realized in the most general numerical form, allows to process various forms and configurations of reinforcement of sections with various nonlinear stress-strain diagrams of materials, which allows to model thus damaged sections of structures in operation, considering corrosion effects. The paper presents the results of numerical modeling of the damaged cross-section using provided technology in order to calculate bearing capacity decrease percent of damaged structure in comparison with its initial state. It also demonstrates a method of applying this technology for the definition of cross-sectional parameters during reconstruction in order to restore structure bearing capacity.

Keywords: building survey; simulation of damaged structures; strength assessment; nonlinear deformational model

Вступ. Надійність і безпека будівель і споруд все більше пов'язується із формуванням наукових підходів моделювання дійсної роботи конструкцій для нормального й аварійного режимів експлуатації. Важливим питанням стає можливість контролю процесу деформування і накопичення пошкоджень матеріалами конструкцій з плином часу, а також можливого руйнування конструктивних вузлів, перехід будівлі до аварійної категорії технічного стану з імовірністю обвалення.

Вирішальне значення для реконструкції будівель, що експлуатуються певний час, має методика моделювання будівель з урахуванням реальної роботи конструкцій, нелінійних властивостей матеріалів, а також побудова коректної конструктивної схеми будівлі з урахуванням зміни напружено-деформованого стану в процесі життєвого циклу.

Постановка дослідження. Мета дослідження – вирішення проблеми конструкційної безпеки будівлі під час реконструкції, на основі створення методики числового моделювання напружено-деформованого стану конструкцій з урахуванням категорій технічного стану і розвитку методів розрахунку конструкцій з урахуванням нелінійного деформування.

Числове моделювання конструкцій в експлуатаційній стадії дозволяє виявити резерви несної здатності конструкцій, що необхідно під час реконструкції. Моделювання пошкодженого перерізу дає можливість визначити коректний напружено-деформований стан конструкції на момент експлуатації для запобігання повній відмові елемента. Проте під час реконструкції не допускається розроблення проектної документації без уточнення раніше виконаних інженерних вишукувань та інструментального обстеження об'єктів [1–5].

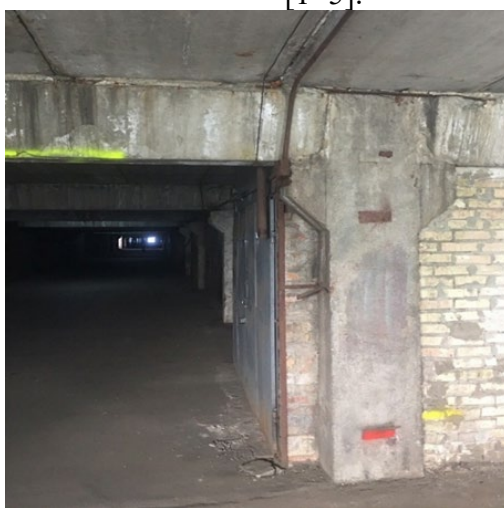


Рис. 1. Вузол спирання міжповерхових ригелів перекриття на консолі збірних залізобетонних колон на позн. +11,200 (4 поверх), по осі «І» в осях «Д–Е». Процес будівництва тривав 15 років, протягом яких будівельні конструкції зазнавали дії атмосферних опадів (снігу, вітру, дощу) та температурних впливів (замерзання, відтавання), таким чином фізичний знос конструкцій будівлі складає 25...30 %.

Будівля перебуває в експлуатації з 1994 року

Об'єкт дослідження – процес оцінювання несної здатності пошкоджених несних конструкцій будівлі гаража [6–8].

Технічне обстеження будівлі виконане відповідно до ДБН А.2.1-1-2014 «Інженерні вишукування для будівництва» на основі інженерно-геологічних вишукувань, визначення конструктивного, об'ємно-планувального рішення будівлі та розмірів її елементів, візуального та інструментального

обстеження несних і огорожувальних конструкцій із фотофіксацією дефектів та пошкоджень конструкцій, встановлення відсотків фізичного зносу та визначення категорії технічного стану несних конструкцій та будівлі у цілому [9].

Досліджується п'ятиповерхова будівля гаража, яка являє собою каркасно-стінову конструктивну систему з поперечним розташуванням збірних залізобетонних

ригелів із підвалом, висота будівлі складає 15,0 м. (рис. 1).

За результатами технічного обстеження, оцінювання міцності, стійкості і фізичного зносу будівлі в цілому та її окремих несних і огорожувальних конструкцій виявлено, що несні та огорожувальні конструкції будівлі (зовнішні несні стіни, збірні залізобетонні колони, плити перекриття та ригелі 1-, 2-, 3- та 5-го поверхів) перебувають у

задовільному технічному стані (2-га категорія) та придатні до подальшої експлуатації. Проте збірні залізобетонні ригелі 4-го поверху в осях «Д–Е» по осях «1», «8» в осях «Б–В» по осях «2», «10», «12» перебувають в аварійному технічному стані (4-та категорія) і непридатні до подальшої експлуатації та потребують негайного підсилення (рис. 2).



Рис. 2. Замокання ригелів на позн. +11,200 (4 поверх), по осі «1» в осях «Д–Е», корозія робочої арматури, відшарування захисного шару бетону. Збірні залізобетонні ригелі 4-го поверху в осях «Д–Е» по осях «3», «4», «5», «11», «13», в осях «Б–В» по осях «14», «19», «20-24» перебувають у технічному стані, непридатному до нормальної експлуатації (3-тя категорія), непридатні до подальшої експлуатації та потребують антикорозійного захисту арматури, відновлення захисного шару бетону та підсилення ригелів залежно від результатів розрахунку (рис. 3)



Рис. 3. Характерні тріщини в збірних залізобетонних ригелях, шириною розкриття $a_T = 5 \dots 20$ мм на позн. +11,200 (4-й поверх)



Рис. 4. Горизонтальні тріщини шириною розкриття $a_T = 30$ мм в розтягнутій зоні ригеля по нижній поверхні, корозія поздовжньої робочої арматури на позн. +11,200 (4-й поверх), по осі «1» в осях «Д–Е»

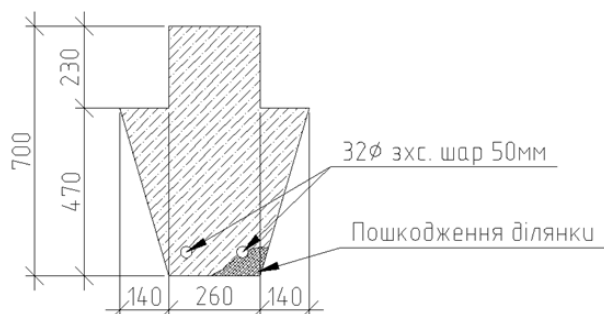


Рис. 5. Поперечний переріз збірного залізобетонного ригеля перекриття

Неруйнівними методами визначено міцність бетону та фактичне армування несних залізобетонних конструкцій. При розкритті тріщини виявлено, що фактичний діаметр поздовжньої робочої арматури складає 22 мм (після очищення від корозійного шару), захисний шар бетону 50 мм (рис. 4). Поперечний переріз ригеля наведений на рисунку 5.

Моделювання роботи поперечного перерізу. Напружено-деформований стан нормального перерізу конструкції під навантаженням можна визначити за нелінійною деформаційною моделлю (НДМ), що розглядає рівняння рівноваги внутрішніх та зовнішніх зусиль у перерізі елемента, покладаючи розподіл відносних деформацій лінійним у площині деформування (гіпотеза плоских перерізів) та приймаючи зв'язок між відносними деформаціями та напруженнями на фібрах матеріалу у вигляді діаграм деформування [10; 11].

Рівняння рівноваги у матричному вигляді (1) пов'язують між собою матрицю

жорсткості перерізу $[D]$, вектор деформацій фібр перерізу $\{\epsilon\}$ та вектор внутрішніх зусиль $\{F\}$, що діють у перерізі:

$$[D] \times \{\epsilon\} = \{F\}. \quad (1)$$

Діаграма деформування матеріалу по суті являє собою нелінійну функцію (2), що встановлює залежність напружень на фібрах матеріалу σ від їх відносних деформацій ϵ :

$$\sigma = f(\epsilon). \quad (2)$$

Ця функція може набувати різноманітного вигляду: рекомендовано використовувати криволінійні (поліноміальні) або кусково-лінійні залежності. Параметрами цієї функції є характеристики міцності та деформативності матеріалу. Розрахунковий переріз при цьому апроксимується набором елементарних площадок (невеликих ділянок однорідного матеріалу та визначеної площі), у межах яких відносні деформації та напруження покладаються сталими та визначеними на рівні центру ваги кожної елементарної площадки. Такий підхід

дозволяє моделювати процеси тріщиноутворення та часткового руйнування бетону конструкції. Так, елементарні площадки, де значення відносних деформацій перевищили граничні значення на розтяг, виключаються з роботи як такі, де утворилися тріщини, а ті, де відносні деформації перевищили граничні значення на стиск, – виключаються з роботи як зруйновані.

Розв'язком системи нелінійних рівнянь (1) НДМ постають такі деформації фібр перерізу, за яких устанавлюється рівновага між внутрішніми та зовнішніми зусиллями. У загальному випадку, зважаючи на довільну конфігурацію перерізу та різноманітні форми подання діаграм деформування ця система рівнянь вирішується наближеними числовими методами.

Отримуючи розв'язки системи рівнянь за різних (наприклад, монотонно зростаючих від нуля до руйнування) зусиль, можна побудувати діаграми стану перерізу конструкції, тобто залежності між діючими зусиллями та відносними деформаціями чи кривизною перерізу, що характеризуватимуть роботу елемента під навантаженням.

За діаграмою стану можна відслідкувати можливий процес руйнування конструкції. Початок цього процесу характеризується досягненням граничних значень відносних деформацій на найбільш стиснутих гранях бетону та розвитком непружних деформацій в арматурних включеннях. У цей момент у перерізі залізобетонного елемента починає утворюватися так званий «пластичний шарнір».

Тривалість процесу руйнування залежить від багатьох факторів, але, по суті, визначається протяжністю низхідної гілки діаграми деформування бетону або протяжністю ділянки текучості арматури. Перед повним руйнуванням відносні деформації фібр найбільш стиснутого бетону завжди досягають граничних значень. Напруження в них починають падати, перерозподіляючись на суміжні менш деформовані фібри.

Критерієм вичерпання несної здатності стає неможливість розв'язати рівняння рівноваги (1) за умови, що деформації в бетоні досягли граничних значень на стиск, а арматура працює на межі текучості.

Числове моделювання пошкодженого перерізу. В рамках дослідження проведено числове моделювання поперечного перерізу конструкції в системі «Конструктор перерізів» програмного комплексу «ЛІРА – САПР». Мета моделювання – числове визначення несної здатності конструкції на кожній стадії експлуатації, визначення відсотка зниження несної здатності в пошкодженому стані та числове підтвердження вибору можливої схеми підсилення конструкції для відновлення початкової несної здатності.

Створено три моделі, що відображають роботу поперечного перерізу збірного залізобетонного ригеля на різних стадіях життєвого циклу: 1 – вихідний стан, 2 – пошкоджений стан, 3 – стан після реконструкції. У вихідному стані контур перерізу моделюється за початковими кресленнями конструкції, нижня поздовжня робоча арматура – 2Ø32A400, верхня – 2Ø20A400. У пошкодженому стані з контуру перерізу вилучається зруйнована ділянка в розтягнутій зоні, діаметр нижньої арматури приймається за результатами натурного обстеження – 22 мм. У стані після реконструкції контур перерізу відновлюється матеріалом тих самих властивостей, а також виконується нарощування конструкції в розтягнутій зоні, де встановлюється додаткове поздовжнє армування – 2Ø22A400.

Моделі перерізів відрізняються лише геометричною конфігурацією, а властивості матеріалів залишаються незмінними: бетон приймається класу C25/30 з криволінійною (поліноміальною) діаграмою деформування, арматура – з дволінійною діаграмою деформування.

Переріз тіла бетону апроксимується сіткою трикутних елементарних площадок із величиною сторони не більше 5 мм в межах заданого контуру, арматурні включення моделюються точками із числово заданою площею перерізу.

У ході моделювання для кожної стадії роботи підбором знаходяться граничні внутрішні зусилля в перерізах (рис. 6). Граничні згинальні моменти для конструкції ригеля можна прийняти за числове вираження його несної здатності. Граничний згинальний момент у вихідному стані перерізу складає 330,5 кН·м, в пошкодженому стані –168,0 кН·м (50,8 % від вихідного стану), у відновленому стані – 339,4 кН·м (102,7 % від вихідного стану).

Для кожного перерізу побудовано діаграми стану у вигляді залежності між діючим згинальним моментом та відносною деформацією найбільш стиснутої фібри бетону від нуля до руйнування (рис. 7).

Аналізуючи діаграми стану, можна наочно побачити нелінійний характер

перебігу процесу деформування конструкції за навантаження, що монотонно збільшується. Можемо також зробити висновок, що процес руйнування конструкції відносно швидкоплинний та проявляється за навантажень, що близькі до граничних.

Аналізуючи відмінності між вихідним та підсиленим станами перерізу, також можемо зробити висновок, що збільшення робочої висоти перерізу навіть за незначного зменшення сумарної площі розтягнутої арматури підвищує жорсткість перерізу та перерозподіляє напруження від стиснутої зони бетону та стиснутої арматури на розтягнуту арматуру, зменшуючи при цьому деформації перерізу.

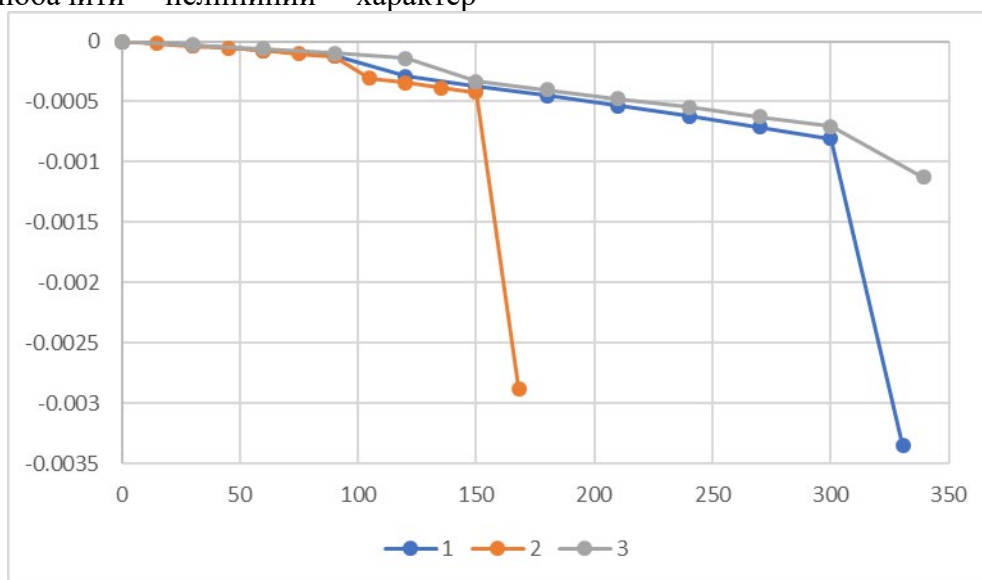


Рис. 6. Діаграма стану «згинальний момент (кН·м) – відносна деформація найбільш стиснутої фібри бетону» для перерізів: 1 – у вихідному стані, 2 – у пошкодженому стані, 3 – у відновленому стані

Висновки. Аналіз напружено-деформованого стану несних елементів каркаса виявив конструкції (ригелі), які потребують підсилення за результатами розрахунку з урахуванням зниження несної здатності. Також рекомендовано розробити

проект виконання робіт із підсилення збірних залізобетонних ригелів з урахуванням вимог ДСТУ Б В.2.6-145:2010 та ДСТУ В.2.6-98:2009, а також згідно з вимогами охорони праці за ДБН А 3.2-2-2009.

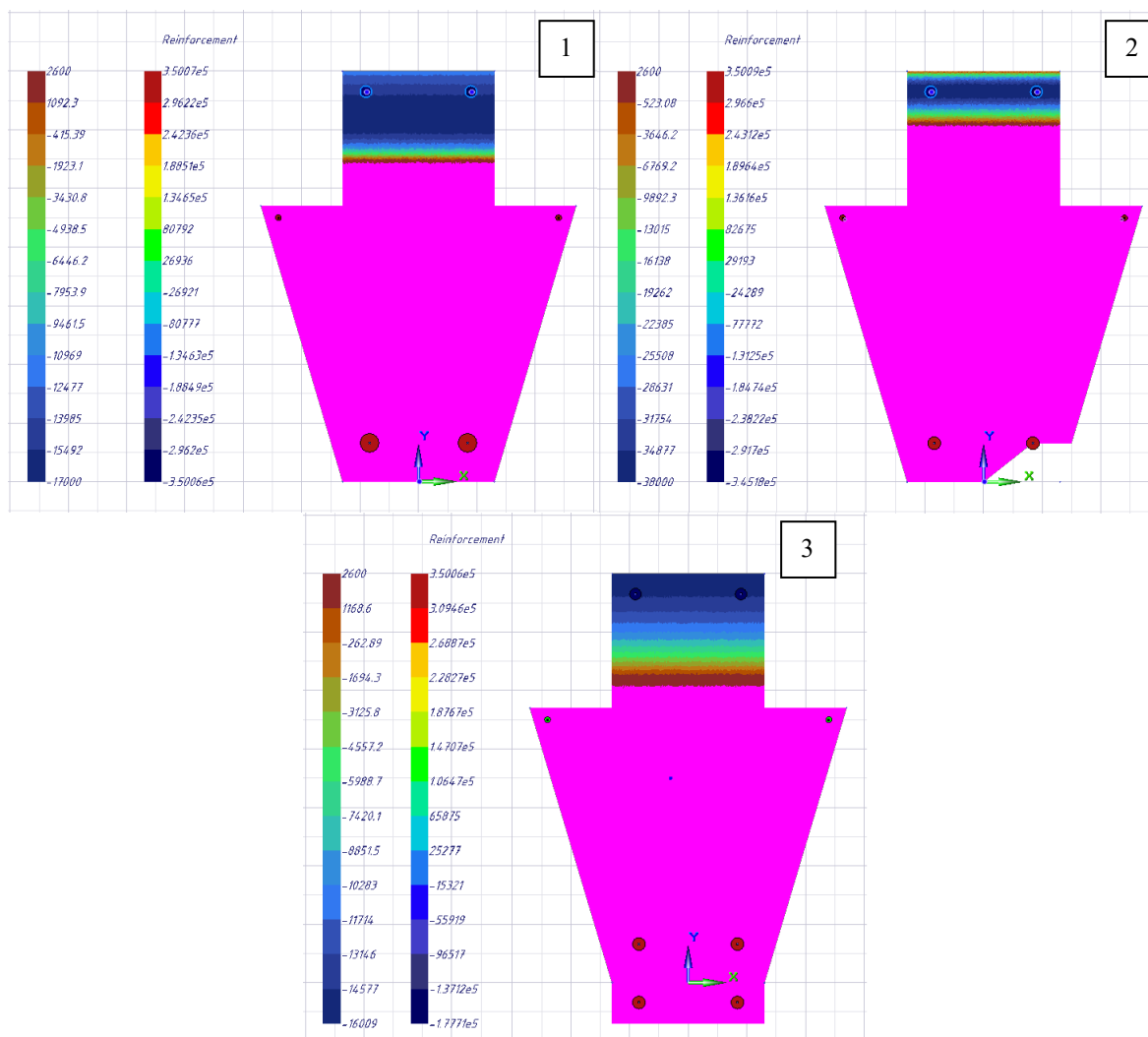


Рис. 7. Епюри напружень за граничних навантажень перерізів:
1 – у вихідному стані, 2 – у пошкодженому стані, 3 – у відновленому стані

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Barabash M. S., Kostyra N. O., Pysarevskiy B. Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads. *Materials Science and Engineering : IOP Conference Series*. Vol. 708. Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings 20–22 November 2019, Kharkiv, Ukraine. DOI : 10.1088/1757-899X/708/1/012044.
2. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства : монография. Киев : Сталь, 2014. 301 с.
3. Барабаш М. С. Урахування факторів ризиків виникнення аварійних ситуацій на етапі експлуатації будівель. *Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения*. 2015. Вып. 82. С. 14–24.
4. Городецкий А. С., Барабаш М. С. Учет нелинейной работы железобетона в ПК «ЛИРА – САПР». Метод «Инженерная нелинейность». *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016. Vol. 12, iss. 2. Pp. 92–98.
5. Костира Н. О., Бакуліна В. М., Малишев О. М. Особливості технічного обстеження та паспортизації прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва. *Machinery and Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, 2019. Pp. 165–169.
6. Барашиков А. Я., Малишев О. М. Оцінювання технічного стану будівель та інженерних споруд : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Київ : Основа, 2008. 320 с.
7. Плоский В. О., Гетун Г. В., Мартинов В. Л. та ін. Технічна експлуатація та реконструкція будівель : підручник-довідник. Кам'янець-Подільський : Рута, 2018. 750 с.
8. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2018. 36 с.

9. ДСТУ Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ : Міністерство України, 2016. 43 с.
10. Dmytrenko Yev., Yakovenko I., Fesenko O. *Scient. Rev. Eng. and Environm. Sc.* 30 (3). 2021. Pp. 424–438.
11. Dmytrenko Yev., Genzerskiy Yu., Yakovenko I., Bakulin Yev. Strength Calculation of Normal Cross-Sections of Reinforced Concrete Structures at Flat Bending by the Wood-Armer Method in SP “LIRA–SAPR”. *AIP Confer. Proceed.* (submitted).

REFERENCES

1. Barabash M.S., Kostyra N.O. and Pysarevskiy B.Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 708, Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings 20–22 November 2019, Kharkiv, Ukraine. DOI : 10.1088/1757-899X/708/1/012044.
2. Barabash M.S. *Kompiuternoe modelirovanie protsessov zhiznennogo tsikla obiektov stroitelstva* [Computer modelling of building structures' lifecycle processes]. Kyiv, 2014, 301 p. (in Russian).
3. Barabash M.S. *Urakhuvannia faktoriv ryzykiv vynyknennia avariinykh sytuatsii na etapi ekspluatatsii budivel* [Considering the risk factors of emergencies during buildings maintaining]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. Seriya: Innovatsionnye tekhnologii zhiznennogo tsikla obiektov zhilishchno-grazhdanskogo promyshlennogo i transportnogo naznacheniia* [Construction, materials science, mechanical engineering. Series : Innovative technologies for the life cycle of housing, civil, industrial and transport facilities]. 2015, no. 82, pp. 14–24. (in Russian).
4. Gorodetskiy A.S. and Barabash M.S. *Uchet nelineinoy raboty zhelezobetona v PK “LIRA – SAPR”. Metod “Inzhenernaia nelineinost”* [Considering nonlinear work of reinforced concrete in the “LIRA – SAPR” software package. “Engineering nonlinearity” method]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016, vol. 12, iss. 2, pp. 92–98. (in Russian).
5. Kostyra N.O., Bakulina V.M. and Malyshev O.M. *Osoblyvosti tekhnichnoho obstezhennia ta pasportyzatsii pryinyatykh v ekspluatatsiiu obiektiv budivnytstva* [Features of technical inspection and certification of commissioned construction projects]. Machinery and Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, 2019, pp. 165–169. (in Ukrainian).
6. Barashykov A.Ya. and Malyshev O.M. *Otsinuvannia tekhnichnoho stanu budivel ta inzhenernykh sporud* [Assessment of the technical condition of buildings and engineering structures]. Kyiv, 2008, 320 p. (in Ukrainian).
7. Ploskyi V.O., Hetun H.V., Martynov V.L. and oth. *Tekhnichna ekspluatatsia ta rekonstruktsia budivel* [Technical operation and reconstruction of buildings]. Kamianets-Podilskyi, 2018, 750 p. (in Ukrainian).
8. DBN V.1.2-14-2018. *Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnikh konstruktsii ta osnov. Normy proektuvannia* [General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings, structures, building structures and foundations. Design standards]. Kyiv : Minbud Ukrainy, 2018, 36 p. (in Ukrainian).
9. DSTU N B V.1.2-18:2016. *Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu* [Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2016, 43 p. (in Ukrainian).
10. Dmytrenko Yev.A., Yakovenko I.A. and Fesenko O.A. Strength of excentrically stretched reinforced concrete structures with small eccentricities by normal sections. Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences. 2021, vol. 30, iss. 3, pp. 424–438.
11. Dmytrenko Yev., Genzerskiy Yu., Yakovenko I. and Bakulin Yev. Strength Calculation of Normal Cross-Sections of Reinforced Concrete Structures at Flat Bending by the Wood-Armer Method in SP “LIRA SAPR”. AIP Conference Proceedings (submitted).

Надійшла до редакції: 20.01.2022.

УДК 574.628.517

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.15.828

ШУМОЗАХИСТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКРАНІВ «ЛАМАНОГО» ПРОФІЛЮ

БЄЛІКОВ А. С.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ШАЛОМОВ В. А.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,
ВАРЯНИЧКО М. О.³, *канд. техн. наук, доц.*,
МАСЛОВА А. С.⁴, *студ.*

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

³ Кафедра будівельної і теоретичної механіки та опору матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: varianichko.mari@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4546-1383

⁴ Факультет цивільної інженерії та екології, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 761-07-21, e-mail: 20045-cb.maslova@365.pgasa.dp.ua

Анотація. Постановка проблеми. У містах України діють цілі системи міських джерел шуму, а саме: автомобільний транспорт, промислові та комунальні підприємства, рейковий транспорт (трамваї, залізниця), повітряний транспорт, водний транспорт, ігрові та господарські майданчики, стадіони та спортивні майданчики тощо. Частина із цих джерел шуму діє на селитебній території, а частина – на її межах. На селитебній території міста найбільш потужне джерело шуму, яке частіше зустрічається, – транспортні потоки магістральними вулицями, а також вулиці різного призначення, стоянки, гаражі, різнорівневі розв'язки автомагістралей, станції технічного обслуговування автомобілів та ціла система громадських будівель та споруд, що обслуговуються різноманітним громадським та іншими видами транспорту. **Мета статті** – з'ясувати можливість збільшення ефективності шумозахисту у конкретній ситуації, без збільшення геометричних розмірів екрана. **Висновок.** Застосування шумозахисних екранів «ламаного» профілю у певних містобудівних умовах може виявитися значно ефективнішим, ніж застосування плоских екранів. Екрани «ламаного» профілю можуть являти собою не тільки ті, що захищають безпосередньо джерело шуму конструкції, й різні павільйони, навіси, які використовуються для різних цілей, далекі від джерела шуму і верхня поверхні профільних контурів примігстральних будівель (магазинів, гаражів) тощо. Якщо в результаті розрахунку екрана «ламаного» профілю верхня «зламана» частина екрана створить великий перекидний момент, утримати конструкцію в рівновазі можна буде не тільки шляхом посилення фундаменту. У цьому випадку можна застосувати різні діафрагми жорсткості, спеціальні троси-розтяжки (ванти), які підтримують похилу частину, тощо, залежно від особливостей конкретних містобудівних умов. Використання шумозахисних екранів «ламаного» профілю дозволить зменшити висоту позначки найвищого горизонту конструкції та істотно скоротити витрати матеріалу на її виготовлення.

Ключові слова: шумозахист; джерело шуму; шумозахисні екрани; акустика; рівень звуку; безпека життєдіяльності

NOISE PROTECTION USING “BROKEN” PROFILE SCREENS

BIELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc(Tech)., Prof.*,
SHALOMOV V.A.^{2*}, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*,
VARIANYCHKO M.O.³, *Cand. Sc.(Tech.), Prof.*,
MASLOVA A.S.⁴, *Stud.*

¹ Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

³ Department of Building and Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: varianichko.mari@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4546-1383

⁴ Faculty of Civil Engineering and Ecology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38(097) 761-07-21, e-mail: 20045-cb.maslova@365.pgasa.dp.ua

Abstract. Problem statement. In the cities of Ukraine there are entire systems of urban noise sources, namely: road transport, industrial and municipal enterprises, rail transport (trams, railways), air transport, water transport, playgrounds, stadiums and sports grounds, etc. Some of these noise sources operate in the residential area, and some – on its borders. In the residential area of the city, the most powerful source of noise, which is more common, are traffic flows through main streets. At the same time there is a whole system of sources of traffic noise. These are streets of various purposes, parking lots, garages, multi-level interchanges of highways, car service stations and a whole system of public buildings and structures served by various public and other modes of transport. **The purpose of this article** is ability to increase the effectiveness of noise protection in a particular situation, without increasing the geometric dimensions of the screen. **Conclusions.** The use of noise protection screens «broken» profile under certain urban conditions may be much more effective than the use of flat screens. Screens «broken» profile can be not only those that directly protect the noise source of the structure, but it can be different pavilions, canopies used for various purposes, away from the noise source and the upper surface of the profile contours of main buildings (shops, garages) etc. If, as a result of calculating the screen of the «broken» profile, the upper «broken» part of the screen will create a large tipping moment, it will be possible to keep the structure in balance not only by strengthening the foundation. In this case, you can use different stiffness diaphragms, special extension cables that support the sloping part, etc., depending on the specifics of specific urban conditions. The use of noise protection screens «broken» profile will reduce the height of the mark of the highest horizon of the structure and significantly reduce the cost of material for its manufacture.

Keywords: noise protection; noise source; noise protection screens; acoustics; sound level; life safety

Постановка проблеми. У різних містах України діють цілі системи міських джерел шуму, а саме: автомобільний транспорт, промислові та комунальні підприємства, рейковий транспорт (трамваї, залізниця), повітряний, водний транспорт, ігрові та господарські майданчики, стадіони та спортивні майданчики тощо.

Аналіз публікацій. Частина із цих джерел шуму діє на селитебній території, а частина – на її межах. На селитебній території міста найбільш потужне джерело шуму, яке частіше зустрічається, – це транспортні потоки магістральними вулицями, а також вулиці різного призначення, стоянки, гаражі, різнорівневі розв'язки автомагістралей, станції технічного обслуговування автомобілів та ціла система громадських будівель та споруд, що обслуговуються різноманітним громадським та іншими видами транспорту.

У містобудівній акустиці ми маємо справу зі стаціонарними зовнішніми джерелами шуму у вигляді елементів генерального плану. Вулиці та інші джерела шуму з автомобільним транспортом належать до джерел не постійного шуму.

Нагадаємо, що постійним вважається джерело шуму, рівень звуку якого змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА при вимірах на тимчасовій характеристиці «повільно» шумоміром за ДСТУ EN ISO 3746:2016 Акустика. Визначення рівнів звукової потужності та рівнів звукової енергії джерел шуму за звуковим тиском

виконується згідно з нормами [1-3].

Цей не постійний шум транспортних потоків характеризується еквівалентним (за енергії) рівнем звуку L_{Aeq} , дБА.

З усіх відомих містобудівних засобів захисту від транспортного шуму найефективніший пристрій шумозахисних екранів між джерелом шуму та об'єктом захисту.

Відомо, що величина зниження рівня звуку екраном-стілкою перебуває у прямій залежності від величини « δ », різниці довжин «обхідного» та прямого променів [4-7] (рис. 1):

$$\delta = (a + b) - c. \quad (1)$$

Збільшення « δ » всього на один метр може викликати збільшення шумозахисної ефективності екрана-стілки від 1 до 9 дБА [7], залежно від величини « δ ».

Мета статті – з'ясувати можливість збільшення « δ » у конкретній ситуації, без збільшення геометричних розмірів екрана.

Результати досліджень. Для конкретної ситуації, а саме взаєморозташування джерела шуму, розрахункової точки (точка на поверхні об'єкта, що захищається, для якої шумозахисна ефективність застосовуваного екрана найменша) і екрана між ними, величина прямого променя « c » незмінна. Отже, збільшити « δ » можна лише за рахунок збільшення суми променів « a » та « b » ($a+b$) (рис. 1).

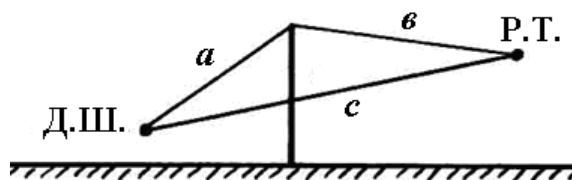


Рис. 1 Схема розміщення джерела шуму (Д.Ш.) та розрахункової точки (Р.Т.)

Виконаємо ряд додаткових геометричних побудов та прийmemo низку додаткових позначень (рис. 2).

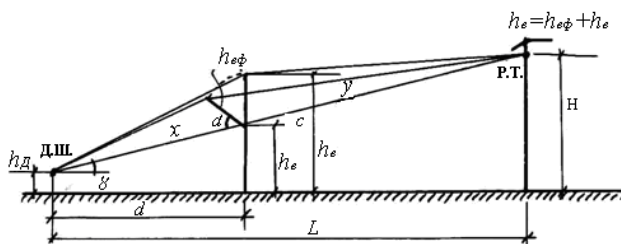


Рис. 2 Додаткова геометрична побудова розміщення джерела шуму та розрахункової точки

Виконаємо спробу «зламати» цей профіль екрана в точці його перетину з променем «с». Для цього обернемо верхню частину екрана навколо точки злам. Отже, з виконаних побудов видно, що сума ($a + b$) за такого обертання змінюватиметься. Тепер визначимо, в якому ж положенні верхньої «зламаної» частини екрана ця сума буде максимальною.

З отриманих трикутників, сторони яких відповідно a , h_{ef} , x та b , h_{ef} , y визначимо « a » і « b ».

Відповідно до теореми косинусів:

$$a = \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - 2 \frac{d \cdot h_{ef}}{\cos \gamma} \cos \alpha, \quad (2)$$

$$b = \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - 2 \frac{l \cdot h_{ef}}{\cos \gamma} \cos(180 - \alpha). \quad (3)$$

Простежимо, як змінюється довжина відрізків « a » та « b » за зміни кута α :

1) від 0° до 90° ; 2) від 90° до 180° .

за $\alpha = 0^\circ$

$$a = \frac{d}{\cos \gamma} - h_{ef}, \quad (4)$$

$$b = \frac{l}{\cos \gamma} + h_{ef}, \quad (5)$$

за $\alpha = 90^\circ$

$$a = \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2}, \quad (6)$$

$$b = \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2}, \quad (7)$$

за $\alpha = 180^\circ$

$$a = \frac{d}{\cos \gamma} + h_{ef}, \quad (8)$$

$$b = \frac{l}{\cos \gamma} - h_{ef}. \quad (9)$$

За зміни α від 0° до 90° відрізок « a » збільшився на величину:

$$\Delta a = \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \left(\frac{d}{\cos \gamma} - h_{ef} \right), \quad (10)$$

а відрізок « b » зменшився на величину:

$$\Delta b = \frac{l}{\cos \gamma} + h_{ef} - \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2}. \quad (11)$$

Визначимо різницю між абсолютними величинами прирощень « a » і « b », тобто $\Delta a - \Delta b$.

$$\left(\sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \left(\frac{d}{\cos \gamma} - h_{ef} \right) \right) - \left(\frac{l}{\cos \gamma} + h_{ef} - \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} \right) = (a + b) - c. \quad (12)$$

Ця різниця завжди позитивна через те, що сума двох сторін трикутника завжди більша за третю сторону.

Із цього випливає, що за зміни кута α від 0° до 90° приріст відрізка « a » за абсолютною величиною випереджає зменшення відрізка « b », тобто якщо $\alpha = 90^\circ$, сума ($a + b$) буде максимальною.

У разі зміни α від 90° до 180° відрізок « a » збільшується на величину:

$$\Delta a = \left(\frac{d}{\cos \gamma} + h_{ef} \right) - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2}, \quad (13)$$

а відрізок « b », продовжуючи зменшуватися, змінить свою довжину на величину:

$$\Delta b = \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \left(\frac{l}{\cos \gamma} + h_{ef} \right), \quad (14)$$

$$\left(\frac{d}{\cos \gamma} + h_{ef} \right) - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \left(\frac{l}{\cos \gamma} + h_{ef} \right) = c - (a + e) \cdot \quad (15)$$

Ця величина завжди негативна. Отже, продовжуючи збільшувати кут α від 90° до 180° , збільшення відрізка «а» починає дедалі більше відставати від збільшення відрізка «в», тобто сума $(a + e)$ починає зменшуватись.

З наведеного розрахунку випливає, що сума $(a + e)$ приймає максимум за $\alpha = 90^\circ$ (табл.).

Розглянемо конкретний приклад із такими вихідними даними:

$$\alpha = 30^\circ; h_{ef} = 5 \text{ м}; d = 10 \text{ м}; l = 50 \text{ м}.$$

Таблиця

Дані розрахунку суми $(a + e)$ для різних кутів α

α	0	30	45	60	90	120	135	150	180
a+e	69,28	69,8	70,1	70,3	70,5	70,3	70,1	69,8	69,28

За допомогою ПЕОМ розраховано « δ » для тринадцяти ситуацій, а саме:

$$L = 100, 50, 20 \text{ м}$$

$$H = 40, 30, 15, 6 \text{ м}$$

$$h_e = 10, 7, 5 \text{ м}$$

$$h_d = 1 \text{ м}.$$

« δ » розраховувалася за формулою:

$$\delta = (a + e) - c = \left(\sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + (h_e - d \tan \gamma + h_d)^2} + \sqrt{\left(\frac{l-d}{\cos \gamma} \right)^2 + (h_e - d \tan \gamma + h_d)^2} \right) - \frac{L}{\cos \gamma}. \quad (16)$$

Спочатку розраховували « δ_{nl} » для плоских екранів тринадцяти ситуацій. Згодом, для тих самих тринадцяти ситуацій, не змінюючи h_e , розраховували $\delta_{л.н.}$ для екранів «ламаного» профілю. « δ » порівнювалися між собою:

$$\Delta \delta = \delta_{л.н.} - \delta_{nl}, \quad (17)$$

де: $\delta_{л.н.}$ – ефективність екрана «ламаного» профілю; δ_{nl} – ефективність екрана плоского профілю.

Аналіз отриманих результатів показав, що в деяких ситуаціях заміна плоского

екрана екраном «ламаного» профілю дуже ефективна. Так, за $L = 100 \text{ м}$; $h_e = 10 \text{ м}$ зі збільшенням висоти розрахункової точки (H) ефективність екрана «ламаного» профілю проти плоского екрана зростає і за $H = 40 \text{ м}$ $\Delta \delta = 2,29 \text{ м}$.

Зі зменшенням L до 50 м збільшення ефективності $\Delta \delta = 3,25 \text{ м}$.

Позитивна різниця $\Delta \delta$ збільшується за зменшення висоти екрана (h_e). Якщо за $d = 5 \text{ м}$; $L = 50 \text{ м}$; $H = 15 \text{ м}$; $h_e = 10 \text{ м}$ вона дорівнює $\Delta \delta = 1,48 \text{ м}$, то за $h_e = 7 \text{ м}$ $\Delta \delta = 3,38 \text{ м}$, а за $h_e = 5 \text{ м}$ $\Delta \delta = 4,40 \text{ м}$.

Відповідно до [7] таке збільшення « δ » підвищить шумозахисну ефективність екрана на 2,6 дБА.

Ми склали та прорахували машинну програму з пошуку екстремальних значень $\Delta \delta$. Геометричні фактори, що характеризують містобудівну ситуацію, змінювалися у таких межах:

$$H = 5 \div 40 \text{ м з кроком } 5 \text{ м}$$

$$L = 15 \div 150 \text{ м з кроком } 15 \text{ м}$$

$$h_d = 1, 3, 5 \text{ м} \quad h_e = 1 \div 15 \text{ м з кроком } 1 \text{ м}$$

$$d = 3 \div 50 \text{ м з кроком } 5 \text{ м}.$$

Результати обчислень показали, що « $\Delta \delta$ » збільшується за

$$h_e \rightarrow \max; L \rightarrow \min;$$

$$d \rightarrow \min; h_d \rightarrow \max.$$

За $h_d = 1 \text{ м}$ функція $\Delta \delta$ набирає максимум у такій ситуації:

$$h_e = 15 \text{ м} \quad H = 20 \text{ м} \quad L = 15 \text{ м} \quad d = 3 \text{ м}.$$

$$\Delta \delta = \delta_{л.н.} - \delta_{nl} = 11,81 - 3,11 = 8,7 \text{ м}$$

За $h_d = 3 \text{ м}$ функція « $\Delta \delta$ » набирає максимуму за такої ситуації: $h_e = 15 \text{ м}$ $H = 15 \text{ м}$ $L = 15 \text{ м}$ $d = 3 \text{ м}$.

$$\Delta \delta = 18,75 - 5,16 = 13,6 \text{ м}.$$

За $h_d = 5 \text{ м}$ функція « $\Delta \delta$ » набирає максимум за такої ситуації і дорівнює:

$$\Delta \delta = 23,39 - 4,41 = 18,98 \text{ м}.$$

Згідно з [5; 7] для $h_d = 1 \text{ м}$ (перший випадок із трьох, наведених вище) шумозахисна ефективність екрана «ламаного» профілю більша ефективності

екрана плоского на 8,56 дБА, для $h_d = 3$ м переважна ефективність становить 8,29 дБА; для $h_d = 5$ м – 10,73 дБА.

Проведені розрахунки показують, що заміна екрана «ламаного» профілю на плоский, який рівний за шумозахисною ефективністю, екран в умовах останньої ситуації ($h_d = 5$ м; $h = 15$ м; $H = 15$ м; $L = 15$ м, $d = 3$ м) викличе необхідність збільшити його висоту з 15 м до 29, тобто у 1,93 раза. Через це збільшаться витрати матеріалу на виготовлення погонної одиниці конструкції, а значить, і вартість її збільшиться.

Висновки. Застосування шумозахисних екранів «ламаного» профілю у певних містобудівних умовах може виявитися значно ефективнішим, ніж застосування плоских екранів. Екрани «ламаного» профілю можуть являти собою не тільки ті, що захищають безпосередньо джерело шуму конструкції, це можуть бути різні

павільйони, навіси, які використовуються для різних цілей, далеко від джерела шуму і верхня поверхні профільних контурів примігстральних будівель (магазинів, гаражів) тощо.

Якщо в результаті розрахунку екрана «ламаного» профілю верхня «зламана» частина екрана створить великий перекидний момент, утримати конструкцію в рівновазі можна буде не тільки шляхом посилення фундаменту. У цьому випадку можна застосувати різні діафрагми жорсткості, спеціальні троси-розтяжки (ванти), які підтримують похилу частину, тощо, залежно від особливостей конкретних містобудівних умов.

Використання шумозахисних екранів «ламаного» профілю дозволить зменшити висоту позначки найвищого горизонту конструкції та істотно скоротити витрати матеріалу на її виготовлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.1–31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму [Текст]; введ. 27.12.2013. Київ : Мінрегіон України, 2014. 54 с.
2. ДСТУ EN ISO 3746:2016. Акустика. Визначення рівнів звукової потужності та рівнів звукової енергії джерел шуму за звуковим тиском [Текст]; введ. 01.01.2018. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 44 с.
3. ДСТУ–Н Б В.1.1–33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій [Текст]; введ. 01.01.2014. Київ : Мінрегіон України, 2014. 45 с.
4. Сафонов В. В. Беліков А. С., Папірник Р. Б. та ін. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей : підруч. під заг. ред. А. С. Белікова. Дніпро : Журфонд, 2020. 336 с.
5. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник. Москва : Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.
6. Беліков А. С., Болібрux Б. В., Шаломов В. А. та ін. Основи охорони праці : підруч. за заг. ред. А. С. Белікова. Дніпро : ПП «Кулик В. В.», 2019. 452 с.
7. Самойлюк Е. П., Денисенко В. И., Пилипенко А. П. Борьба с шумом в населенных местах. Київ : Будівельник, 1981. 144 с.

REFERENCES

1. DBN V.1.1 – 31:2013. *Zakhyst terytorii, budynkiv i sporud vid shumu* [Protection of territories, buildings and structures from noise]. Kyiv : Minrehion Ukrainy Publ., 2014, 54 p. (in Ukrainian).
2. DSTU EN ISO 3746:2016. *Akustyka. Vyznachennia rivniv zvukovoi potuzhnosti ta rivniv zvukovoi enerhii dzhherel shumu za zvukovym tyskom* [Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources by sound pressure]. Kyiv : DP «UkrNDNTs» Publ., 2018, 44 p. (in Ukrainian).
3. DSTU–N B V.1.1–33:2013. *Nastanova z rozrakhunku ta proektuvannia zakhystu vid shumu selbyshchnykh terytorii* [Guidelines for the calculation and design of noise protection of residential areas]. Kyiv : Minrehion Ukrainy Publ., 2014, 45 p. (in Ukrainian).
4. Safonov V.V. Bielikov A.S., Papirnyk R.B., Ivanov S.V., Didenko L.M., Pylypenko O.V., Lapshin O.O., Doronin E.V., Shatov S.V. and Shalomov V.A. *Inzhenerni rishennya z ohoroni praci pri rozrobci diplomnih proektiv inzhenerno-budivel'nih special'nostej* [Engineering solutions for labor protection in the development of diploma projects in civil engineering]. Dnipro : Zhurfond Publ., 2020, 336 p. (in Ukrainian).
5. Ivanov N.I. *Inzhenernaia akustyka. Teoryia y praktyka borby s shumom* [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control]. Moscow : Unyversytetskaia knyha Publ., Lohos, 2008, 424 p. (in Russian).

6. Bielikov A.S., Bolibruh B.V., Shalomov V.A., Safonov V.V., Tretiakov O.V., Hudozhnik D.V., Sharanova Yu.G. and Nesterenko S.V. *Osnovi ohoroni praci* [Basics of labor protection]. Dnipro : PP «Kulik V. V.» Publ., 2019, 452 p. (in Ukrainian).

7. Samoiliuk E.P., Denysenko V.Y. and Pylypenko A. P. *Borba s shumom v naseleennykh mestakh* [Noise control in populated areas]. Kyiv : Budivelnik Publ., 1981, 144 p.

Надійшла до редакції: 11.01.2022 р.

УДК 69.059.6.

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.21.829

ПРЕДМЕТНА ГАЛУЗЬ ДЕМОНТАЖУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД І ПЕРЕДУМОВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

БІЛОКОНЬ А. І.^{1*}, докт. техн. наук, проф.,

НЕСЕВРЯ П. І.², канд. техн. наук, доц.,

НАУМОВ В. О.³, асп.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-76, e-mail: belokon0604@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7332-1177

² Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 770-79-21, e-mail: nesevrya.pavlo@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

³ Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 380-94-39, e-mail: naumov.vladyslav@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0355-6472

Анотація. Постановка проблеми. Стаття розглядає проектування демонтажу та утилізації будівель та споруд. Знесення розглядається як винятковий захід, пов'язаний з містобудівними та іншими об'єктивними обставинами, спрямований на реновацію та підвищення ефективності використання територій. Показано, що проблема оновлення, трансформації та стратегічного розвитку територій – це безперервний процес. Він пов'язаний, насамперед, із змінами знань, технологій, появою нових матеріалів та можливостей, а також новим уявленням про якість довкілля. **Мета роботи** – виконати аналіз літературних джерел на тему дослідження, сформулювати системне уявлення про накопичені знання в галузі демонтажу та ліквідації будівель та споруд та сформулювати передумови проведення подальших досліджень. **Об'єкт дослідження** – процеси проектування етапу виведення з експлуатації та ліквідації будівель та споруд. **Предмет дослідження** – методичні положення, інструменти та дії, пов'язані із забезпеченням ефективності та безпеки демонтажу будівель та споруд. Всі наукові роботи в цій галузі можна об'єднати у три напрямки: проектування будівель та споруд під розбирання; виконання демонтажу будівель та споруд; утилізація конструкцій будівель та споруд. Ефективність проектування будівлі під розбирання пов'язують, насамперед, із моделюванням конструктивних схем будівель, що забезпечують високий рівень трансформації та деконструкції. При спочатку спроектованих для деконструкції будинках можна успішно відновити набагато більше матеріалів для повторного використання. Це дає значні економічні та екологічні переваги. Виконання демонтажу будівель та споруд представлено у наукових фахових виданнях прикладами застосування різних технологій і методів знесення. У проектуванні технологій та прийнятті основних рішень щодо демонтажу та руйнування елементів будівель особливий наголос робиться на контрольованість, безпеку та ефективність процесу. Проектування етапу розбирання/знесення будівель та споруд вимагатиме додаткових досліджень та технологічних можливостей BIM. Розглянуті в публікаціях технології та методи знесення та їх застосування не дають об'єктивного уявлення та корисних орієнтирів для проектування. На нашу думку, необхідно продовжити дослідження щодо узагальнення досвіду, пошуку закономірностей, створення на їх основі інструментів і процедур для обґрунтування прийняття рішень. Запропоновано для кращого розуміння проблеми та пошуку можливостей її вирішення низку конкретних завдань.

Ключові слова: проектування демонтажу та зносу будівель та споруд; основні проектні рішення щодо способу ведення робіт

SUBJECT AREA OF DISMANTLING BUILDINGS AND STRUCTURES AND BACKGROUND FOR FURTHER RESEARCH

BILOKON A.I.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

NESEVRIA P.I.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

NAUMOV V.O.³, Postgraduate Stud.

^{1*} Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-76, e-mail: belokon0604@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7332-1177

² Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (066) 770-79-21, e-mail: nesevrya.pavlo@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

³ Department of Construction Organization and Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (066) 380-94-39, e-mail: naumov.vladyslav@pgasa.dp.ua _ORCID ID: 0000-0002-0355-6472

Abstract. Problem statement. The paper is devoted to the design of dismantling and disposal of buildings and structures. Demolition is considered as an exceptional measure related to urban planning and other objective circumstances, aimed at renovation and improving the efficiency of the use of territories. It is shown that the problem of renewal, transformation and strategic development of territories is a continuous process. It is associated primarily with changes in knowledge, technology, the emergence of new materials and capabilities, as well as a new understanding of the quality of the environment. **Purpose of the article.** Perform an analysis of literary sources on the research topic, form a systematic understanding of the accumulated knowledge in the field of dismantling and liquidation of buildings and structures, and formulate the prerequisites for further research. The object of the study is to design processes for the stage of decommissioning and liquidation of buildings and structures. **Subject of study.** Methodological provisions, tools and actions related to ensuring the efficiency and safety of dismantling and liquidation of buildings and structures. It is shown that all scientific work in this area can be combined into three areas: design of buildings and structures for dismantling; dismantling of buildings and structures; utilization of structures of buildings and structures. The effectiveness of designing a building for dismantling is associated, first of all, with the modeling of structural schemes of buildings that provide a high degree of transformation and deconstruction. With buildings originally designed for deconstruction, many more materials can be successfully recovered for reuse. This provides significant economic and environmental benefits. The dismantling of buildings and structures is presented in scientific publications by works on the practical application of various demolition technologies and methods. When designing technologies and making major decisions on the dismantling and destruction of building elements, special emphasis is placed on the controllability, safety and efficiency of the process. The performed research allowed to form a systematic understanding of the subject area of dismantling buildings and structures. It is shown that the problem of demolition is a multifaceted, multifunctional, interdisciplinary problem. Its solution will require the efforts and coordination of many specialists from different fields and professions. The design of the dismantling/demolition of buildings and structures will require additional research and technological capabilities of BIM. The demolition technologies and methods discussed in the publications, and their application, do not have sufficient justification. They do not provide an objective view or useful guidelines for design. They are particular examples, and regularities, as you know, are manifested in mass phenomena. According to the authors, it is necessary to continue research in terms of generalizing experience, searching for patterns, creating tools and procedures based on them to justify decision-making. It is proposed, for a better understanding of the problem and the search for opportunities to solve it:

- to form a set of representative objects based on implemented projects;
- to form databases on representative objects regarding the features of the objects and the characteristic features of the decisions made;
- determine the most important features of the object and features of the site conditions that determine the quality of decisions made;
- develop technological means of accumulating, storing and searching for relevant documents, possible alternative solutions;
- propose a mechanism for comparing alternatives and choosing a final solution.

The solution of these tasks will allow the development teams, the customer and all interested parties to make effective and safe decisions on the demolition and dismantling of buildings and structures promptly, most importantly, objectively, reasonably and convincingly.

Keywords: *design of dismantling and demolition of buildings and structures; the main design decisions on the method of conducting work*

Актуальність теми дослідження. У наукових доповідях, публікаціях та дослідженнях дедалі частіше порушується тема знесення будівель та споруд. Проблема знесення привертає увагу не тільки будівельників та архітекторів, а й фахівців у галузі екології, охорони праці, будівельних матеріалів, управління, економіки та права, політики, та, що найпримітніше, – філософії. Ця тенденція притаманна як загалом для світової практики, так і для України зокрема.

Знесення передбачає контрольовану ліквідацію будівлі (споруди) шляхом

розбирання та обвалення конструкцій. При цьому знесення вважається винятковою мірою, пов'язаною з містобудівними та іншими об'єктивними обставинами (високим фізичним та моральним зносом, аварійним станом будівлі та ін.), спрямованими на реновацію та підвищення ефективності використання території.

Не може будь-яка дисципліна, зокрема, і така як створення об'єктів забезпечення життєдіяльності людини, спрямована на своє (в результаті) кінцеве знищення. Вважається, що трансформація та поліпшення

середовища – це безперервний та взаємопов'язаний процес. І пов'язаний він насамперед із зміною знань, технологій, появою нових матеріалів та можливостей, а також новим уявленням про якість довкілля.

Еволюційний підхід (коли все застаріле, що віджило, неефективне, має відійти і поступитися дорогою новому, життєздатному) розглядає знесення як проміжну ланку, як крок на шляху до створення нових можливостей.

Отож актуальність теми дослідження не викликає сумніву, що проблема трансформації, оновлення та стратегічного розвитку територій існуватиме завжди, а діяльність у цій галузі наповнюватиметься все новими сенсами.

Мета роботи – виконати аналіз літературних джерел на тему дослідження, сформулювати системне уявлення про накопичені знання в галузі демонтажу та ліквідації будівель та споруд та сформулювати передумови проведення подальших досліджень.

Об'єкт дослідження – процеси проектування етапу виведення з експлуатації та ліквідації будівель та споруд.

Предмет дослідження – методичні положення, інструменти та дії, пов'язані із забезпеченням ефективності та безпеки демонтажу і ліквідації будівель та споруд.

Аналіз літератури. Аналіз наукових публікацій на тему дослідження дозволяє сформулювати уявлення про предметну галузь накопичених знань, що стосуються проблеми демонтажу та ліквідації будівель та споруд.

Усі наукові роботи у цій галузі можна об'єднати в низку напрямів, таких як:

- проектування будівель та споруд для демонтажу;
- виконання демонтажу будівель та споруд;
- утилізація конструкцій будівель та споруд.

У першому напрямку слід виділити роботи, що стосуються:

- проектування виведення з експлуатації та утилізації конструкцій будівель;
- проектування будівель та споруд з високим ступенем трансформації та будівель, де велика місткість деконструкції елементів.

Другий напрямок – це роботи, що розглядають:

- технології знесення;
- проектування демонтажу будівель та споруд.

І третій напрямок – наукові роботи, які стосуються проблеми утилізації продуктів знесення будівель та споруд, у тому числі:

- загальне управління відходами;
- політики у сфері управління відходами;
- правового та нормативного забезпечення управління відходами.

Проектування виведення з експлуатації будівель та споруд стосується таких аспектів:

- технічна експертиза залишкового ресурсу будівель [1–3];
- оцінювання кількості та якості матеріалів (продуктів знесення) з урахуванням їх подільності [2].

Вчасно проведена технічна експертиза може бути законною підставою для зняття з балансу та подальшого демонтажу будівель та споруд або може вказати на наявні резерви для подальшої їх експлуатації [1].

Для проектування подальшого використання будівельних матеріалів, отриманих під час демонтажу будівель та споруд, потрібна інформація про точний склад (кількість та якість) матеріалів.

Для визначення геометрії будівлі та кількості матеріалу використовується технологія лазерного сканування, а для визначення якості матеріалу проводиться детальне дослідження будівлі, включаючи детонацію та свердління керна.

У висновку складається відомість матеріалів, доступних для повторного використання.

За допомогою механізму виведення з експлуатації та зняття з балансу будівель і споруд, що відпрацювали свій технічний ресурс, досягається значне зниження матеріальних витрат під час експлуатації непрацюючих будівель і споруд [2].

Загальна оцінка залишкового терміну служби існуючих конструкцій може бути складена шляхом аналізу стану як окремих елементів, так і їх взаємодії (спільної роботи) всередині структурної системи [3].

Такий підхід дозволяє пов'язати зношування окремого елемента з поведінкою

конструкції в цілому і зрозуміти, як взаємодія елементів може вплинути на залишковий термін служби конструкції, щоб забезпечити оцінювання фактичного стану будівлі і таким чином зробити прогноз зміни майбутніх характеристик.

Ефективність проектування будівель під розбирання пов'язують насамперед із моделюванням конструктивних систем будівель, що забезпечують високий рівень трансформації та деконструкції [4; 5; 7; 9].

Наразі більшість будівель не призначені для розбирання. Можливості BIM дозволяють спроектувати оптимальну будівлю за критерієм деконструкції [7].

У будинках, спочатку спроектованих для деконструкції, можна успішно відновити набагато більше матеріалів для повторного використання. Це дасть значні економічні та екологічні переваги.

Сучасний етап розвитку будівництва немислимий без урахування теорії повного життєвого циклу будівель та споруд. Особливо тут важливий етап демонтажу та утилізації об'єкта.

Останній стадії донедавна приділялося недостатньо уваги. Особливо актуальним постає питання проектування утилізації відходів знесення в будівництві. Вирішенням проблеми могло стати створення нормативної бази вилучення вторинних матеріалів і повторного їх використання [4].

У ході дослідження [5] проаналізовано кількісні дані щодо діяльності з повторного використання, переробки та демонтажу будівельних матеріалів. Мета – у визначенні показників можливого повторного використання та вторинної переробки будівлі.

Ці показники можна використовувати у будівельних нормах і державних субсидіях, спрямованих на стимулювання діяльності з демонтажу.

Як тільки такі показники будуть чітко визначені, зацікавлені сторони будівельної галузі отримають міцнішу основу для процесу прийняття рішень щодо демонтажу та проектування будівель під розбирання.

Для створення конструкцій і будівель з високою здатністю до трансформації і потенціалом демонтажу необхідно зосередити більше зусиль на розробленні

збірних елементів і систем будівель і споруд для підтримки потенціалу перетворення на стадії можливого демонтажу [6].

Збірні елементи та системи можуть стати відправною базою, яка забезпечить розроблення матеріалів та елементів для повторного використання та зробить процес розбирання економічно, екологічно та соціально здійсненним.

Початкове проектування будівель та споруд на основі теорії повного життєвого циклу з урахуванням етапу демонтажу та утилізації об'єкта – важливий елемент політики поводження з відходами.

Це вимагатиме нових досліджень та розробок у напрямку створення інструментів та технологічних можливостей BIM для проектування та управління будівельними відходами [8].

Прикладом успішного вирішення питань щодо утилізації та загального управління відходами може бути компанія AZS (Чеська Республіка) [9]. За 2011–2015 рр. вторинна переробка відходів збільшилася у 1,6 раза.

Спроба узагальнити актуальні тенденції у сфері переробки будівельних відходів здійснена у праці [10].

Автори звертають увагу на кількість статей із цієї проблеми, яка зросла з 3–5 у 2010–2011 рр. до 25–30 у 2019–2020 рр., що явно свідчить про великі зміни за 10 років у практиці поводження з будівельними відходами. Виконано контент-аналіз публікацій, який охоплював такі аспекти: мету, методологію, практичне застосування та ін.

На думку авторів [11], є необхідність ширшого аналізу глобальних потоків постачання сировини та матеріалів, щоб урахувати їх вплив на весь життєвий цикл та збільшення терміну служби конструкцій будівель.

Розробникам політики у сфері управління відходами має бути доступна низка заходів, що сприяють упровадженню економіки замкнутого циклу. Нижче наведено приклади загальних заходів, які можуть бути визначені як надійні інструменти політики.

Вторинні матеріали повинні мати конкурентні ціни, наприклад, за допомогою таких інструментів як зелені податки. Їх

також необхідно зайняти ринками, що повністю функціонують, підтримують такі заходи як зелені державні закупівлі для створення на них попиту.

Стандартизація вторинної сировини (для початку хоча б на національному рівні) допоможе підняти рівень довіри до цих матеріалів.

Комунікація між зацікавленими сторонами, обмін та зберігання інформації полегшать прийняття рішень щодо зносу або ремонту та переобладнання. Дослідження та розроблення технологічних рішень із наголосом на рециркуляцію можуть збільшити повторне використання будівельних компонентів та запобігти утворенню відходів за рахунок збільшення терміну служби конструкцій.

Характерні зміни у законодавстві та політиці Великобританії за останні два десятиліття спрямовані на зміну національного законодавства відповідно до вимог директив ЄС щодо відходів.

Як говориться у статті [12], стратегія стосовно відходів для Великобританії залежить від вжитої ієрархії заходів.

Переважний порядок поводження з відходами відповідно до прийнятої ієрархії такий:

1. Запобігання утворенню відходів.
2. Підготовка до повторного використання.
3. Переробка.
4. Відновлення за рахунок рекуперації енергії та іншими методами.
5. Утилізація (останній засіб).

Найбільш впливовими заходами з управління відходами були: SWMP 2008 (спеціальний закон про відходи) та схема оподаткування полігонів, покликані гарантувати замовникам та підрядникам будівництва можливість завчасного планування та раціонального управління відходами, у той час як податок на поховання відходів служить стимулом для їх повторного використання з метою скорочення витрат на утилізацію на полігонах.

Етап виконання демонтажу будівель та споруд представлений у наукових виданнях роботами, що відображають застосування на

практиці різних технологій та методу знесення.

Розглядаючи знесення як етап, що передує основному будівництву, низка авторів у своїх публікаціях приділяють увагу питанням проектування технології та прийняття основних рішень щодо демонтажу та руйнування елементів будівлі, роблячи особливий наголос на контрольованості, безпеці та ефективності процесу, широко використовуючи технологічні можливості BIM.

У працях [13; 14] викладено відповідні вимоги для забезпечення зазначених умов.

1. Необхідно виключити у процесі знесення будівель будь-які впливи на навколишнє середовище, прилеглі будівлі та населення.

2. У виборі методу демонтажу будівель слід керуватись факторами:

- призначення об'єкта;
- щільність навколишньої забудови;
- поверховість;
- конструктивна схема будівлі;
- стан;
- тип конструкцій;
- економічність;
- структурна стабільність;
- розташування стосовно довкілля тощо.

3. Для демонтажу об'єктів підвищеної поверховості в умовах щільної міської забудови раціонально застосовувати методи демонтажу, що чинять найменший вплив як на навколишнє середовище, так і на розташовані поблизу будівлі та споруди.

4. Компанія, яка здійснює демонтаж (знесення), має отримати документальне підтвердження відповідними актами, у яких зазначається відключення всіх систем електро-, водо-, повітропостачання, систем зв'язку, дистанційного та автоматичного управління [15].

5. Перед роботами зі знесення необхідно ретельно обстежити будівлю, щоб вона не могла завдати серйозної шкоди навколишньому середовищу та майну навколо будівлі.

6. Процедура знесення повинна проводитися так, аби мінімізувати ризики заподіяння шкоди людям та майну, створення загрози здоров'ю та безпеці

персоналу, шкоди навколишньому середовищу.

7. Демонтаж конструкцій слід здійснювати в такий спосіб, щоб можна було переробити максимальну кількість матеріалу.

Велику увагу в публікаціях приділено різним способам ведення робіт. Розглядаються способи із застосуванням різних видів алмазних канатів для механічного зрізання конструкцій у місцях їх монолітних з'єднань, відділенням та поелементним демонтажем [16].

Для руйнування масивів залізобетонних фундаментів застосовують способи:

- гідровибуховий, електрогідравлічний, гідророзколювання [14];

- для розбирання несних конструкцій, виконаних у монолітному варіанті, – термічний спосіб;

- руйнування та знесення панельних будівель виконують за допомогою екскаваторів-руйнівників, обладнаних гідравлічними ножицями [17].

Руйнування каркасних багатоповерхових будівель дуже енергоємне і вимагає застосування потужних стрілових та баштових кранів, але при цьому з'являється можливість фізичного збереження конструкцій та їх демонтажу [18].

Висока трудомісткість і, як наслідок, висока вартість робіт із ліквідації неексплуатованих будівель (споруд) способом поелементного демонтажу, а також досить проблематичне повторне використання конструкцій, що демонтуються, за призначенням дозволяють рекомендувати знесення неексплуатованих будівель (споруд) способом механічного обвалення [9].

Це найбільш безпечне та повністю механізоване технологічне рішення.

У статті [19] показано процес механічного знесення шляхом покрокового дослідження та обвалення конструкцій. Спочатку конструкція послаблюється в поперечному перерізі за допомогою різача, а потім її обвалюють із застосуванням бічного (горизонтального) навантаження. Демонтаж конструкцій у такий спосіб дозволяє переробити максимальну кількість матеріалу.

Використовуються технології «розумного» знесення [14; 15], що дозволяє підвищити безпеку та екологічність цього процесу, а також максимізувати переробку та повторне використання будівельних відходів.

Будівлю послідовно опускаються на висоту горизонту, що зноситься (на два поверхи), за допомогою спеціально встановленої гідравлічної ковзної опалубної системи, яка обв'язує і повторює периметр будівлі.

У статті [20] розглянуто виконання робіт для ліквідації багатоповерхової будівлі. Наведено техніко-економічні показники виконання демонтажних робіт, що здійснюються двома способами:

- поелементне розбирання;
- механічне знесення.

Результати дослідження показали таке.

Найбільш трудомісткий процес – це розбирання монолітних конструкцій вручну, тоді як трудомісткість механічного обвалення аналогічних конструкцій нижча у 9 разів. При цьому різниця в питомій вартості виконання робіт становить усього близько 36 %.

Разом із тим очевидна екологічна перевага способу поелементного розбирання, що полягає як у меншому пилоутворенні, так і меншій частці несортованого будівельного сміття. При цьому зберігається можливість фізичного збереження конструкцій та вторинного їх використання.

Частина елементів перекриттів використовувалася на будівельному майданчику під улаштування основи складів та внутрішньомайданчикових доріг.

Зазначається, що підвищена поверховість, щільність забудови, нові стандарти екологічної безпеки, посилення вимог до переробки відходів доводять перевагу методу поелементного демонтажу будівель.

Наведені матеріали публікацій та досліджень дають уявлення про стан проблеми та ступінь її вирішення.

Вони можуть бути покладені в основу системи знань щодо демонтажу та ліквідації будівель та споруд.

Таблиця

Предметна сфера демонтажу будівель та споруд

№ п/п	Сфери діяльності	Напрямки діяльності	Сенс діяльності, розуміння
1	Проектування будівель на основі теорії повного життєвого циклу	1.1. Проектування виведення з експлуатації та утилізації будівель	• Механізм виведення з експлуатації та зняття з балансу будівель та споруд • Технічна експертиза залишкового ресурсу будівель • Оцінювання якості та кількості матеріалу відходів з урахуванням розподілу
		1.2. Проектування будівель з високим ступенем трансформації	• BIM-технології
		1.3. Проектування будівель за критерієм їхньої деконструкції	• Деконструкція, можливість повторного використання елементів будівлі
2	Виконання демонтажу будівель та споруд	2.1. Застосування технології знесення	• Відображення практичного досвіду • Переробка максимальної кількості матеріалів • Кероване (контрольоване) знесення на основі показників • Безпечне та ефективне знесення
		2.2. Проектування, виконання демонтажу будівель та споруд	• Основні рішення з розбирання та руйнування • Інструменти проектування на основі BIM • Алгоритми прийняття рішень • Моделювання альтернатив із використанням технологічних можливостей BIM • Система допусків та сертифікації на виконання робіт • Технічна безпека та виключення шкідливих умов праці
3	Рециркуляція та утилізація конструкцій будівель та споруд	3.1. Загальне керування відходами	• Система утилізації будівельних відходів • Оптимізація проектування рішень керування будівельними матеріалами • Впровадження положень щодо утилізації та загального керування відходами • Переорієнтування використовуваних матеріалів до більш замкнутого застосування • Рециркуляція та рекуперація у поводженні з відходами • Розвиток комунікацій, накопичення та розповсюдження інформації між усіма зацікавленими сторонами
		3.2. Політика в галузі керування відходами, правове та нормативне забезпечення	• Повторне застосування • Впровадження економіки замкнутого циклу • Конкурентні ціни на вторинні матеріали • Зелені тарифи на рециркуляцію • Зелені податки на захоронення будівельних відходів • Функціонування ринку вторинних матеріалів • Зелені державні закупівлі • Стандартизація вторинної сировини (запровадження національних стандартів) • Запровадження вимог щодо використання вторинної сировини • Створення нормальної бази для використання вторинної сировини

Результати дослідження

Виконані дослідження дозволили сформулювати системне уявлення про предметну область демонтажу будівель та споруд (табл.).

Як бачимо, знесення споруд – це багатопланова, функціональна, міждисциплінарна проблема. Її рішення вимагатиме зусиль та координації дій багатьох фахівців із різних галузей та професій.

Потрібні зміни у політиці поводження з будівельними відходами, нові національні стандарти. Впровадження її елементів вимагатиме тривалого часу, безліч погоджень на законодавчому та виконавчому рівнях.

Проектування етапу розбирання (знесення) будівель та споруд вимагатиме додаткових досліджень та розроблення технологічних інструментів проектування із залученням можливостей BIM.

Кількість прикладів знесення будівель на практиці постійно зростає. Опубліковані матеріали досвіду мають поодинокий, несистемний та розрізнений характер.

Різноманітність вибору технологій та методів знесення та їх застосування не мають достатнього обґрунтування. Вони не дають об'єктивного уявлення та корисних орієнтирів для проектування.

На думку авторів цієї статті необхідно продовжити дослідження щодо узагальнення досвіду, пошуку

закономірностей, створення їх основі інструментів і процедур для обґрунтування прийняття рішень.

Висновки. Для кращого розуміння проблеми та пошуку можливостей її вирішення, на думку авторів, необхідно:

1. Сформувати сукупність об'єктів-представників з урахуванням реалізованих проектів.

2. Сформувати базу даних щодо об'єктів-представників (робочу документацію, включаючи проекти виконання робіт).

3. Узагальнити та систематизувати ознаки об'єктів та характерні ознаки рішень.

4. На основі експертного аналізу визначити найважливіші ознаки об'єкта та ознаки майданчика, що впливають на якість прийнятих рішень.

5. Розробити технології накопичення зберігання (упорядкування) та пошуку потрібної інформації (документів, можливих альтернатив вирішення).

6. Запропонувати механізм порівняння альтернатив та вибору остаточного рішення.

Вирішення перелічених питань дозволить оперативно, а головне, об'єктивно, аргументовано, переконливо для груп розробників, замовника та всіх зацікавлених сторін приймати ефективні та безпечні рішення щодо знесення будівель та споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Meliha Honic, Iva Kovacic, Philipp Aschenbrenner, Arne Ragossnig. Material Passports for the end-of-life stage of buildings : Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*. Vienna, Austria.
2. Гарькина И. А., Гарькин И. Н. Техническая экспертиза: обоснование демонтажа зданий и сооружений. *Technical Sciences*.
3. Casprini E., Passoni C., Belleri A., Marini A., Bartoli G., Riva P. Demolition-and-Reconstruction or Renovation? Towards a Protocol for the Assessment of the Residual Life of Existing RC Buildings. 2019. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* Vol. 290. 2010. Pp. 0120.
4. Гончарова М. А., Борков П. В., Аль-Суррайви Х. Г. Х. Рециклинг крупнотоннажных бетонных и железобетонных отходов при реализации контрактов полного жизненного цикла. *Строительные материалы*. 2019. № 12. С. 52–57. URL: doi: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-777-12-51-57>.
5. Fernanda Cruz Riosa, Wai K. Chong, David Grau. Design for Disassembly and Deconstruction – Challenges and Opportunities. Arizona State University, University Drive & Mill Avenue, Tempe, AZ 85281, United States. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction.
6. Wasim Salama. Design of concrete buildings for disassembly : An explorative review. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2016. Leibniz University, Hannover 30419, Germany.
7. Хамитов Тагир Камилевич. Расчет несущей способности дымовой трубы при демонтаже. *Известия КГАСУ*. 2019. № 3 (49).

8. Енговатов И. А., Коваленко Ж. А. Специфика демонтажа зданий и сооружений, выводимых из эксплуатации АЭС. *Международный научно-исследовательский журнал*. № 12 (102), ч. 1. URL: doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.006>.
9. Terezie Vondráčková, Luboš Podolka and Věra Voštová. Handling construction waste of building demolition: MATEC Web Conf. Vol. 146. 2018. Pp. 03012. URL: doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814603012>;
10. Mesa J. A., Fúquene-Retamoso C., Maury-Ramírez A. Life Cycle Assessment on Construction and Demolition Waste : a systematic literature review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Pp. 7676. URL: <https://doi.org/10.3390/su13147676>
11. European Environment Agency (EU body or agency). Construction and demolition waste.
12. Adjei Solomon & Ankrah, Nii & Issaka Ndekugri. Review of construction and demolition waste management legislation in the UK. 2013.
13. Rath Shweta & Khandve Pravin. Demolition of Buildings : an overview. *International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAERD)*. 2014. ISSN: 2348-4470.1.8.
14. Букунов А. С. Деконструкция на основе информационного моделирования. URL: doi:10.18720/SPBPU/2/id20-214
15. Бородин В. Б. Використання сучасних технологій руйнування будівельних конструкцій : зб. наук. пр. ДонНАБА, 2020. № 3.
16. Килина И. А., Ефимова Т. Ю. Специальные методы демонтажа зданий. *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2019. № 2. С. 301–306.
17. Pavel Oleinik and Tatyana Kuzmina. The stages of demolition of buildings of the first industrial generation. *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. Vol. 365. 2018. Pp. 062016. doi:10.1088/1757-899X/365/6/062016.
18. Топчий Д. В. Оценка корреляционной зависимости материалоемкости строительных конструкций различных типов производственных зданий, подлежащих демонтажу при перепрофилировании промышленных территорий. *European Research*. 2015. № 6 (7).
19. Walls Richard. Demolition of steel structures: structural engineering solutions for a more sustainable construction industry. 2017. URL: doi: 10.1007/978-3-319-48725-0_1.
20. Мазурин Д. М., Дементьева М. Е. Техничко-экономические показатели производства работ по демонтажу многоэтажного здания в условиях сложившейся застройки. *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16, вып. 6. С. 741–750. doi: 10.22227/1997-0935.2021.6.741-750.

REFERENCES

1. Meliha Honic, Iva Kovacic, Philipp Aschenbrenner and Arne Ragossnig. Material Passports for the end-of-life stage of buildings : Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*. Vienna, Austria.
2. Garkina I.A. and Garkin I.N. *Tekhnicheskaya ekspertiza: obosnovaniye demontazha zdaniy i sooruzheniy* [Technical expertise: justification for the dismantling of buildings and structures]. Technical Sciences. (in Russian).
3. Casprini E., Passoni C., Belleri A., Marini A., Bartoli G. and Riva P. Demolition-and-Reconstruction or Renovation? Towards a Protocol for the Assessment of the Residual Life of Existing RC Buildings. 2019. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Vol. 290, 2010, pp. 0120.
4. Goncharova M.A., Borkov P.V., Al-Surrayvi H.G.Kh. *Retsikling krupnotonnazhnykh betonnykh i zhelezobetonnykh otkhodov pri realizatsii kontraktov polnogo zhiznennogo tsikla* [Recycling of large-tonnage concrete and reinforced concrete wastes in the implementation of full life cycle contracts]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2019, no. 12, pp. 52–57. URL: doi: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-777-12-51-57>. (in Russian).
5. Fernanda Cruz Riosa, Wai K. Chong and David Grau. Design for Disassembly and Deconstruction – Challenges and Opportunities. Arizona State University, University Drive & Mill Avenue, Tempe, AZ 85281, United States. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction.
6. Wasim Salama. Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2016, Leibniz University, Hannover 30419, Germany.
7. Khamitov Tagir Kamilevich. *Raschet nesushchey sposobnosti dymovoy truby pri demontazhe* [Calculation of the bearing capacity of the chimney during dismantling]. *Izvestiya KGASU* [Izvestiya KGASU]. 2019, no. 3 (49). (in Russian).
8. Engovatov I.A. and Kovalenko Zh.A. *Spetsifika demontazha zdaniy i sooruzheniy, vyvodimyykh iz ekspluatatsii AES* [The specificity of dismantling buildings and structures decommitted by NPP]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal]. No. 12 (102), part 1. URL: doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.006>. (in Russian).
9. Terezie Vondráčková, Luboš Podolka and Věra Voštová. Handling construction waste of building demolition: MATEC Web Conf. Vol. 146, 2018, pp. 03012. URL: doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814603012>.
10. Mesa J.A., Fuquene-Retamoso C. and Maury-Ramírez A. Life Cycle Assessment on Construction and Demolition Waste : a systematic literature review. *Sustainability*. 2021, vol. 13, pp. 7676. URL: <https://doi.org/10.3390/su13147676>.
11. European Environment Agency (EU body or agency). Construction and demolition waste.

12. Adjei Solomon & Ankrah, Nii & Issaka Ndekugri. Review of construction and demolition waste management legislation in the UK. 2013.
13. Rathi Shweta & Khandve Pravin. Demolition of Buildings : an overview. International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAERD). ISSN: 2348-4470.1.8.
14. Bukunov A.S. *Dekonstruksiya na osnove informatsionnogo modelirovaniya* [Deconstruction based on information modeling]. URL: doi:10.18720/SPBPU/2/id20-214. (in Russian).
15. Borodin V.B. *Vykorystannya suchasnykh tekhnolohiy ruynuvannya budivel'nykh konstruksiy : zb. nauk. pr. DonNABA* [Victory of modern technologies of revolutionary designs : coll. of sc. works of DonNABA]. No. 3, 2020 (21). (in Ukrainian).
16. Kilina I.A. and Efimova T.Yu. *Spetsial'nyye metody demontazha zdaniy* [Special methods for dismantling buildings]. *Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika* [Modern Technologies in Construction. Theory and Practice]. 2019. no. 2, pp. 301–306. (in Russian).
17. Pavel Oleinik and Tatyana Kuzmina. The stages of demolition of buildings of the first industrial generation. IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. Vol. 365, 2018, pp. 062016. URL: doi:10.1088/1757-899X/365/6/062016.
18. Topchiy D.V. *Otsenka korrelyatsionnoy zavisimosti materialoyemkosti stroitel'nykh konstruksiy razlichnykh tipov proizvodstvennykh zdaniy, podlezhashchikh demontazhu pri pereprofilirovanii promyshlennykh territoriy* [Evaluation of the correlation dependence of the material consumption of building structures of various types of industrial buildings subject to dismantling during the conversion of industrial territories]. European Research. 2015, no. 6 (7). (in Russian).
19. Walls Richard. Demolition of steel structures: structural engineering solutions for a more sustainable construction industry. 2017. URL: doi: 10.1007/978-3-319-48725-0_1.
20. Mazurin D.M. and Dementieva M.E. *Tekhniko-ekonomicheskiye pokazateli proizvodstva rabot po demontazhu mnogoetazhnogo zdaniya v usloviyakh slozhivsheysya zastroyki* [Technical and economic indicators of work on the dismantling of a multi-storey building in the conditions of the current development]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MBSU]. 2021, vol. 16, iss. 6, pp. 741–750. URL: doi: 10.22227/1997-0935.2021.6.7. (in Russian).

Надійшла до редакції: 13.02.2022.

УДК 7.022

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.31.830

АКТУАЛЬНІСТЬ «МАЛИХ» САДІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ПРИВАТНОМУ САДОВО-ПАРКОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

ДЕМИДЕНКО А. С.^{1*}, студ.,
МАЛІК Т. В.², канд. арх., проф.

^{1*} Кафедра дизайну середовища, Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну імені Михайла Бойчука, вул. М. Бойчука, 32, 01103, Київ, Україна, e-mail: demydenko8225-1@murdoch.in, ORCID ID: 0000-0002-1037-4634

² Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну імені Михайла Бойчука, вул. М. Бойчука, 32, 01103, Київ, Україна, e-mail: malik@lund-univer.eu, ORCID ID: 0000-0001-9050-9457

Анотація. Постановка проблеми. Ландшафтна архітектура – сфера діяльності, що постійно еволюціонує. Історично, з розвитком урбанізації, кількість і складність об'єктів ландшафтного проектування збільшувалась. З погляду на це розрізняються етапи становлення ландшафтно-архітектурної пов'язаності і зумовлені еволюцією поглядів на відносини «Людина – Природа», технічними й технологічними здобутками людства, соціальними потребами й умовами. Наведено аналіз прийомів формування малих садів та парків у міському середовищі та приватному садово-парковому будівництві. **Мета статті** – визначення потреби та важливості проектування малих садів у міському середовищі та приватному садово-парковому будівництві. **Висновок.** З'ясовано, що головним завданням малого саду в сучасних архітектурних комплексах стає гуманізація, індивідуалізація та одухотворення навколишнього середовища людини. Для цього архітектори користуються традиційними і новаторськими композиційно-функціональними прийомами, естетико-художніми засобами. Виявлено, що малі сади сьогодні, як і в усі часи, проявляються як декоративний супровід архітектури, виконуючи при цьому низку інших завдань. Проблема комплексного вивчення малих садів пов'язана і з багатовекторним тимчасовим її вивченням, бо культура малого саду може проявитися у свідомості людей як елемент традиції, як знак сучасності і як ідеал сприятливої перспективи майбутнього міського середовища. Аналіз місця і ролі малого саду в сучасному місті дозволяє вважати його необхідним та актуальним елементом сучасної ландшафтно-архітектури.

Ключові слова: садово-паркове мистецтво; композиційно-образна структура; ландшафтний елемент; озеленення міського середовища; функціональне зонування

RELEVANCE OF “SMALL” GARDENS IN THE URBAN ENVIRONMENT AND PRIVATE GARDEN AND PARK BUILDING

DEMYDENKO A.S.^{1*}, Student,
MALIK T.V.², Ph.D. in Architecture, Prof.

^{1*} Department of Environment Design, Mykhailo Boichuk Kyiv State Academy of Decorative-Applied Arts and Design, 32, Mykhailo Boichuk St., 01103, Kyiv, Ukraine, e-mail: demydenko8225-1@murdoch.in, ORCID ID: 0000-0002-1037-4634

² Mykhailo Boichuk Kyiv State Academy of Decorative-Applied Arts and Design, 32, Mykhailo Boichuk St., 01103, Kyiv, Ukraine, e-mail: malik@lund-univer.eu, ORCID ID: 0000-0001-9050-9457

Abstract. Problem statement. Landscape architecture is a constantly evolving field of activity. Historically, with the development of urbanization, the number and complexity of landscape design objects has increased. In this regard, there are different stages in the formation of landscape architecture, associated and due to the evolution of views on the relationship “Man – Nature”, technical and technological achievements of mankind, social needs and conditions. The analysis of methods of formation of small gardens and parks in the urban environment and private garden and park construction is presented. **Purpose of the article.** The article aims to determine the need and importance of designing small gardens in urban environments and private landscaping. **Conclusion.** As a result, it was found that the main task of a small garden in modern architectural complexes is the humanization, individualization and spiritualization of the human environment. To do this, architects use traditional and innovative compositional and functional techniques, aesthetic and artistic means. It was found that small gardens today, as in all times, are manifested as a decorative accompaniment to architecture, while solving a number of other problems. The problem of comprehensive study of small gardens is associated with many vector temporary studies, because the culture of a small garden can manifest itself in the minds of people as an element of tradition, as a sign of modernity and as an ideal prospect for the future

urban environment. The analysis of the place and role of a small garden in a modern city allows us to consider it a necessary and relevant element of modern urban interior architecture..

Keywords: *garden and park art; compositional structure; landscape element; urban landscaping; functional zoning*

Постановка проблеми. У XXI сторіччі ландшафтна архітектура набуватиме усе більшого значення як засіб формування якісно нового середовища життєдіяльності суспільства. Оволодіння знаннями з ландшафтної архітектури і ландшафтного проектування вельми необхідне з позиції подальшого вдосконалення життєвого простору людини різних містобудівних рівнів на основі гармонійного поєднання його природних та антропогенних елементів [1]. Нині загально визнано, що завдання ландшафтної архітектури – важлива складова, яка вирішує цілий комплекс питань, пов'язаних із формуванням повноцінного життєвого існування людини [2].

У нових соціально-економічних умовах кінця XX – початку XXI століття в містобудівному проектуванні виникла необхідність комплексного підходу до проектування малих садів як фрагментів середовища сучасного міста. Облаштування цих об'єктів доцільне для створення позитивно-емоційного, лікувально-оздоровчого та естетико-художнього впливу на людину в умовах великого міста [3].

Аналіз публікацій. Дослідження, присвячені особливостям ландшафтного дизайну, описані в наукових працях І. В. Древаль, Л. С. Залеської та Є. М. Мікуліної, М. Н. Демидко та О. П. Євсєєвої, В. В. Дормідонтової, Н. А. Унагаєвої, О. Б. Сокольської, Т. О. Черноусової та ін. [1–7].

Мета статті – визначення потреби та важливості проектування малих садів у міському середовищі та приватному садово-парковому будівництві.

Результати досліджень. Часто кажуть, що сучасний малий сад – це «кімната просто неба». Це визначає специфіку його структури, де основне – маленький майданчик для відпочинку, на якому

розміщені або пісочниця, гойдалки і дерев'яні коні, або лавки і столи з тіньовим навісом, квітником, фонтаном. Житловий двір будується як серія таких «кімнат», іноді об'єднаних навколо дещо більшого простору («залу», якщо продовжувати аналогію з інтер'єром), іноді утворюють «анфіладу», але завжди по можливості ізольованих один від одного. Приквартирні сади, незалежно від того, розміщені вони на землі або на даху, вже повністю влаштовуються як ділянки, що безпосередньо пов'язані з інтер'єром і розвиваючи його простір.

В історичному розрізі садово-паркового мистецтва, можна відмітити проектування малих садів в основному при монастирях (рис. 1) чи приватних садибах, наприклад, оформлення внутрішнього дворику будівлі, келій або церков. Ці малі сади, не руйнуючи просторової єдності ансамблю, в той же час підкреслювали його поділ на частини, служили фоном для архітектури.

У розвитку садово-паркового мистецтва XVI–XVII ст. своєрідним явищем були Верхові розважальні сади, створені при багатих хоробах на спеціальних кам'яних склепіннях подібно до висячих садів Семіраміди. У XVII столітті існували сади на дахах і терасах палаців, або так звані «прикімнатні» сади.

У сучасних умовах функції малих садів розвиваються, що, відповідно, вимагає нових композиційних і образних рішень, на основі послідовності і новаторства [3]. Крім цього, слід враховувати, що садово-паркове мистецтво – найбільш ємне відображення ступеня розвитку людини в кожну історичну епоху.

Сад – це світ, створюваний людиною відповідно до її вмінь, досягнень і уявлень на кожному історичному етапі. Саме цим пояснюється виняткова «сприйнятливість» садово-паркового мистецтва до нововведень у всіх інших сферах людської діяльності [8].



Рис. 1. Малий аптекарський сад Спасо-Евфимієва монастиря [6; 21]

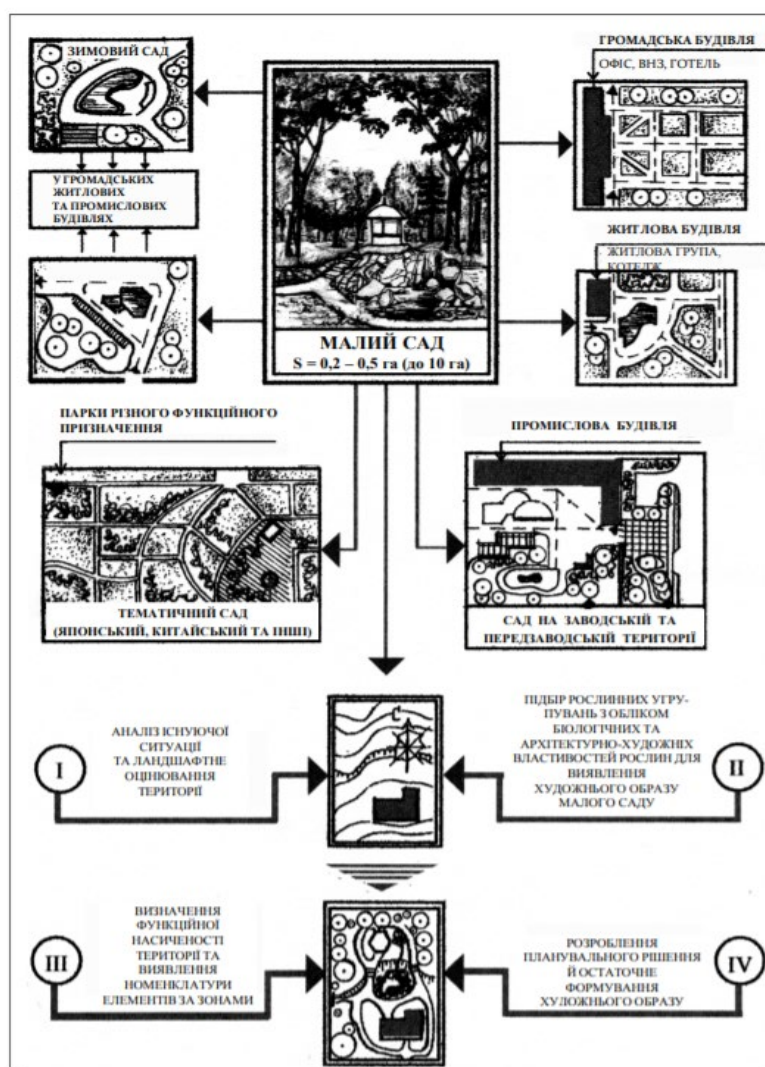


Рис. 2. Прийоми розміщення та етапи формування малого саду [10; 23]

Проектуванню малих садів наразі приділяють велику увагу, тому існує їх велика різноманітність в архітектурно-

ландшафтній організації. Малі сади відрізняються різноманітністю ландшафтних, композиційних, стилевих особливостей,

складу рослинності, прийомів планування [9]. Залежно від характеру планувальної організації і образного вирішення їх можна класифікувати за цілою низкою критеріїв: за функціональним призначенням (для короточасного відпочинку або тривалого, повсякденного і періодичного); за конфігурацією в плані і площі охоплення (квадратні, прямокутні або складної форми); за стилем планування (регулярні, ландшафтні або змішані); за характером рельєфу (плоскі, терасовані, горбисті); за пріоритетним видом рослинності (сад хвойних рослин, декоративно листяних, плодово-ягідних, квіткових (розарії, бузкові сади), змішаних тощо) [10].

Малий сад може займати територію в середньому від 0,2 до 5–6, подекуди до 10 га. До малих садів належать озеленені території офісів, готельних комплексів, супермаркетів, вищих навчальних закладів, науково-дослідних інститутів, лікувальних установ, санаторіїв, дитячих садів, шкіл та ін. Малі сади достатньо компактні за територією, яку вони займають з певною ландшафтною темою, можуть входити до планувальної структури парків різноманітного призначення. До малих належать також зимові сади, сади на дахах і внутрішні дворики [10] (рис. 2).

Основною природною умовою, що визначає вибір планування, постає рельєф. Він визначає, з одного боку, мікрокліматичні умови ділянки, розподіл води і, отже, стан рослинності. Загальний архітектурно-художній задум малого саду майже цілком залежить від гармонійного взаємозв'язку його елементів – доріжок, підпірних стінок, сходів, відкосів, розміщення ландшафтних рослинних угруповань і водних пристроїв.

Обмеженість площі малого саду змушує передбачати планувальні прийоми, що ілюзорно збільшують простір. Малі сади з регулярним прийомом планування характеризуються переважанням прямих алей, геометричною формою водойм, майданчиків, квіткового оформлення, симетричними посадками, часто із

застосуванням стрижених живоплотів і окремих екземплярів дерев і чагарників.

Такі малі сади можуть мати симетричне й асиметричне вирішення плану [1]. Загальний архітектурно-художній задум малого саду майже цілком залежить від гармонійного взаємозв'язку його елементів – доріжок, підпірних стінок, сходів, відкосів, розміщення ландшафтних рослинних угруповань і водних пристроїв (рис. 3).

Малий сад виконує рекреаційні та архітектурно-художні функції. Основними спорудами малого саду постають різноманітні малі архітектурні форми – павільйони, тіньові навіси, перголи, трельяжі, лави та ін.; водні пристрої – джерела, струмки, водоспад, каскади, декоративні і плавальні басейни тощо; декоративна скульптура та ін. [12].

Зонування парку допомагає виразити характерні форми і переваги садово-паркового ландшафту функціональної частини парку на тлі іншого в масштабному вирішенні, стильовій своєрідності, співвідношенні природних і штучних складових елементів, інтенсивності благоустрою.

Архітектурно-планувальна організація парку проектується з урахуванням композиційного і просторового об'єднання з насадженнями в міській забудові. Проникнення елементів природи в урбанізоване середовище сприяє органічному включенню ландшафтних елементів у структуру міста, готує відвідувачів до прилучення до живої природи в парку, візуальному включенню в композицію парку цікавих об'єктів міської забудови [13].

Центром композиції малого саду можуть бути елементи ландшафту (квітучі чагарники, квітники, солітер, кам'яний сад) або малі архітектурні форми (фонтан, каскад, струмок тощо). Якщо малий сад проектується в архітектурній споруді, композиція саду повинна бути підпорядкована цьому об'єкту. Розміщуючи МАФи на територіях малих садів, необхідно пам'ятати, що у створенні гармонійного середовища проживання людини головна

роль усе ж має належати масивам зелені, окремим декоративним групам дерев, водним поверхням, геопластиці рельєфу. Для проектування за малих масштабів

архітектурних об'єктів озеленення потрібне максимальне абстрагування, доцільно застосовувати силуетний спосіб зображення (рис. 4).



Рис. 3. Планування малого саду у регулярному та пейзажному стилях [11]



Рис. 4. Озеленення дахів як приклад малих садів у міському середовищі [14]

Проектуючи малий сад, як і будь-який ландшафтний об'єкт, необхідно продумати образ і емоційне забарвлення пейзажу, використовуючи універсальні закони композиції. Необхідно розробити сценарій пересування по саду під час руху від однієї композиції до іншої у відвідувача повинна відбуватися постійна зміна враження. Яскраві композиції (складні за формою і насичені за кольором) повинні чергуватися з нейтральними (паузами) – однорідним спокійним ландшафтом (групою з одного виду рослини, живоplotом тощо) [10].

Загальний архітектурно-художній задум малого саду майже цілком залежить від гармонійного взаємозв'язку його елементів – доріжок, підпірних стінок, сходів, відкосів, розміщення ландшафтних рослинних угруповань і водних пристроїв.

Висновки. Малий сад підпорядкований особливим законам проектування. Його невелика площа зобов'язує ландшафтного архітектора особливо продумати функціональне використання території, раціональний рух, прикриття меж тощо. Особливого значення в саду набувають деталі – декоративні стінки, перголи, що розділяють спільний простір; павільйони відпочинку, що зливаються із садом через

лоджії, внутрішні двори, великі отвори вікон; малюнок покриття доріжок. Різноманітні поєднання рельєфу, води та рослинності створюють базу для формування численних ландшафтних композицій з високим ступенем емоційного впливу. У кожному окремому випадку один із елементів ландшафту постає провідним.

Отож, основа планування такого саду – це створення максимальних зручностей для відпочинку, органічне поєднання зовнішнього та внутрішнього просторів, використання нових будівельних матеріалів і технологій. Із усіх ландшафтних компонентів рослинність стає головним засобом формування будь-якої території присадибної ділянки. За допомогою рослинності можна забезпечити добре ізолювання від оточення, якщо в цьому є потреба. Для цього варто використовувати вертикальне озеленення, а також двоярусну посадку дерев за периметром саду.

Такі прийоми дадуть змогу забезпечити повну ізоляцію внутрішнього простору та відмежувати його від негативних зовнішніх факторів. Обмеженість майданчика малого саду спонукає використовувати різноманітні планувальні прийоми, які ілюзорно збільшують його простір.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Древалі І. В. Теоретичні й методичні основи архітектурного проектування» (М 3.1) для студентів 3-го курсу освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за напрямом підготовки 6.060102 «Архітектура» спеціальності «Містобудування»: конспект лекцій. Харків : ХНАМГ, 2011. 50 с.
2. Залеская Л. С., Микулина Е. М. Ландшафтная архитектура. Москва : Стройиздат, 1979. 240 с.
3. Демидко М. Н., Евсеева О. П. Типология и принципы ландшафтной организации городских малых садов. Минск : БГТУ, 2012. 50 с.
4. Дормидонтова В. В. История садово-парковых стилей. Под ред. Попова И. В. Казань : ГУП ПИК «Идел-Пресс», 2004. 207 с.
5. Унагаева Н. А. Социально ориентированная среда проектирования общественно-активных мест города. Самоидентификация архитектурных школ в условиях глобализации архитектурного процесса : сб. тез. междунар. конф. Саратов : СГТУ, 2009. С. 199–202.
6. Сокольская О. Б. История садово-паркового искусства. Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. 178 с.
7. Черноусова Т. О. Садово-паркове та ландшафтне будівництво (для студентів 3-го курсу денної і 4-го курсу заочної форм навчання напряму підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво» спеціальності «Міське будівництво та господарство») : конспект лекцій з курсу. Харків : Харківська національна академія міського господарства, 2010. 56 с.
8. Крижановська Н. Я., Вотінов М. А., Смірнова О. В. Основи ландшафтно-архітектури та дизайну. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 348 с.
9. Потаєв Г. А. Архітектурно-ландшафтний дизайн : теорія і практика, 2017. URL: https://studref.com/302503/agropromyshlennost/arhitekturno-landshaftnyy_dizayn_teoriya_i_praktika (дата звернення: 17.08.21).

10. Березина Е. А., Колпакова М. Р., Старикова Т. С. Малый сад в системе большого города : методические указания и программа-задание к практическим занятиям по курсу «Ландшафтная архитектура». Новосибирск : Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия, 2013. 28 с.
11. Паніна О. Малі сади і внутрішні дворики, 2016. URL: <http://www.panielena.narod.ru/landshaftMaliSad.html> (дата звернення : 17.08.21).
12. Бауэр Н. В. Ландшафтное проектирование. Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. 240 с.
13. Николаевская З. А. Садово-парковый ландшафт. Москва : Стройиздат, 1989. 344 с.
14. Малый сад, 2015. URL : https://studopedia.ru/9_218422_maliy-sad.html (дата звернення : 17.08.21).

REFERENCES

1. Dreval I.V. *Teoretychni y metodychni osnovy arkhitekturnoho proektuvannya» (M 3.1) dlya studentiv 3 kursu osviti o kvalifikatsiynoho rivnya bakalavr za napryamom pidhotovky 6.060102 «Arkhitektura» spetsial'nosti «Mistobuduvannya» : konspekt lektsiy z dysypliny* [Summary of lectures on the subject “Theoretical and methodological foundations of architectural design” (M 3.1) for 3rd year students of educational qualification level bachelor in the direction of training 6.060102 – “Architecture” specialty “Urban Planning”]. Kharkiv : Kharkiv National Academy of Municipal Economy, 2011, 50 p. (in Ukrainian).
2. Zalesskaya L.S. and Mikulina E.M. *Landshaftnaya arkhitektura* [Landscape architecture]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1979, 240 p. (in Russian).
3. Demidko M.N. and Evseeva O.P. *Tipolohiya i pryntsyipy landshaftnoyi orhanizatsiyi gorodskyyh malykh sadov* [Typology and principles of landscape organization of urban small gardens]. Minsk : BSTU, 2012, 50 p. (in Russian).
4. Dormidontova V.V. *Istoriya sadovo-parkovykh styley* [History of garden and park styles]. Kazan' : SUE PIK “Idel-Press”, 2004, 207 p. (in Russian).
5. Unagaeva N.A. *Sotsial'no-oriyentirovannaya sreda proyektirovaniya obshchestvenno-aktivnykh mest goroda* [Socially-oriented environmental design of socially active places of the city]. *Samoidentifikatsiya arkhitekturnykh shkol v usloviyakh globalizatsii arkhitekturnogo protsessa: sb. tez. mezhdunar. konf.* [Self-identification of architectural schools in the conditions of globalization of architectural process : coll. of abstracts of the intern. conf.] Saratov : SGTU Publ., 2009, pp. 199–202. (in Russian).
6. Sokolska O.B. *Istoriya sadovo-parkovogo iskusstva* [History of garden and park art]. Saratov : FGBOU VO Saratovskiy GAU Publ., 2016, 178 p. (in Russian).
7. Chernonosova T.O. *Sadovo-parkove ta landshaftne budivnytstvo» (dlya studentiv 3 kursu dennoyi i 4 kursu zaachnoyi form navchannya napryamu pidhotovky 0921 (6.060101) «Budivnytstvo» spetsial'nosti «Mis'ke budivnytstvo ta hospodarstvo»): konspekt lektsiy z kursu* [Summary of lectures on the course “Landscape and Landscape Construction” (for students of the 3rd year of full-time and 4th year of distance learning in the direction of training 0921 (6.060101) “Construction” specialty “Urban Construction and Economy”)]. Kharkiv : Kharkiv National Academy of Municipal Economy, 2010, 56 p. (in Ukrainian).
8. Kryzhanovska N.Ya., Votinov M.A. and Smirnova O.V. *Osnovy landshaftnoyi arkhitektury ta dyzaynu* [Fundamentals of landscape architecture and design]. Kharkiv : Kharkiv National Academy of Municipal Economy, 2019, 348 p. (in Ukrainian).
9. Potaev G.A. *Arkhitekturno landshaftnyy dizayn: teoriya i praktyka* [Architectural landscape design : Theory and practice]. URL : https://studref.com/302503/agropromyshlennost/arhitekturno-landshaftnyy_dizayn_teoriya_i_praktika (Accessed : 01 September 2021). (in Russian).
10. Berezina E.A., Kolpakova M.R. and Starikova T.S. *Malyy sad v sisteme bol'shogo goroda : metodicheskiye ukazaniya i programma-zadaniye k prakticheskim zanyatiyam po kursu «Landshaftnaya arkhitektura»* [A small garden in the system of a big city: methodical instructions and program-tasks for practical classes on the course “Landscape Architecture”]. Novosibirsk : Novosibirsk State Academy of Architecture and Art, 2013, 28 p. (in Russian).
11. Panina O. *Mali sady i vnutrishni dvoryky* [Small gardens and courtyards]. URL : <http://www.panielena.narod.ru/landshaftMaliSad.html> (Accessed : 01 September 2021). (in Russian).
12. Bauer N.V. *Landshaftnoye proektirovaniye* [Landscaping]. Tyumen : Industrial University of Tyumen, 2011, 240 p. (in Russian).
13. Nikolaevskaya Z.A. *Sadovo-parkovyy landshaft* [Garden and park landscape]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1989, 344 p. (in Russian).
14. *Malyy sad* [Small garden]. URL : https://studopedia.ru/9_218422_maliy-sad.html (Accessed : 01 September 2021). (in Russian).

Надійшла до редакції: 05.02.2022.

УДК 691.3

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.38.831

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ТЕС У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.¹, *докт. техн. наук, проф.*,

МОСЬПАН В. І.², *канд. техн. наук, доц.*,

КОЛОХОВ В. В.^{3*}, *канд. техн. наук, доц.*,

ДЗЮБАН О. В.⁴, *канд. техн. наук, доц.*,

МАЛЫЦЕВ С. В.⁵, *бакал.*

¹ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: derevianko.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

² Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: mospan.volodumir@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

^{3*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

⁴ Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: dziuban.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

⁵ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

Анотація. Постановка проблеми. Основа сучасної енергетики – різні типи електростанцій, з яких ТЕС складають близько 40 %. Технологія виробництва електроенергії на ТЕС шкідлива, що пов'язано з утворенням великої кількості відходів. На них припадає понад 30 % викидів шкідливих речовин від загального обсягу викидів промислових підприємств. Підвищений попит на електроенергію зумовлює підвищення обсягів їх виробництва, що спричинює збільшення кількості золошлакових відходів і викидів шкідливих речовин в атмосферу. **Мета статті.** В Україні 160 тис. га із 60 млн га загальної площі займають відвали промислових відходів, або, як їх називають, вторинні продукти виробництва. Щорічно у країні утворюється близько 8 млн тонн золошлакових відходів, а їх зберігання супроводжується вкрай негативними наслідками для навколишнього середовища і здоров'я людини. Золошлакові відвали містять токсичні елементи, забруднюють ґрунт та підземні води, потребують відчуження великих територій. Обсяги вже накопичених відходів сягають понад 300 млн тонн і займають величезні площі земель. При цьому мало не всі золошлакові відвали українських вугільних ТЕС і ТЕЦ вже майже заповнені, тому для продовження роботи потрібні все нові і нові площі. **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Згідно з даними європейських дослідників, поховання відходів обходиться в суму близько 60 євро / тонну. Середня ТЕС витрачає близько 12–36 млн євро на рік тільки на утримання золошламосховищ.

Ключові слова: золошлакові відходи; шкідливі речовини; токсичні елементи

MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH ON THE USE OF TES ASH IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

DEREVIANKO V.M.¹, *Dr Sc. (Tech.), Prof.*,

MOSPAN V.I.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

KOLOKHOV V.V.^{3*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

DZIUBAN O.V.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

MALTSEV S.V.⁵, *Bachelor*

¹ Department of Technologies of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: derevianko.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

² Department of Technologies of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: mospan.volodumur@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

^{3*} Department of Technologies of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

⁴ Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: dziuban.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6279-346x

⁵ Department of Technologies of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

Abstract. Formulation of the problem. The basis of modern energy – various types of power plants, of which thermal power plants is about 40 %. The technology of electricity production at thermal power plants is harmful due to the generation of large amounts of waste. They account for more than 30 % of emissions of harmful substances from the total emissions of industrial enterprises. Increased demand for electricity causes an increase in their production, which leads to an increase in the amount of ash and slag waste and emissions of harmful substances into the atmosphere.

The purpose of the article. In Ukraine, 160 thousand hectares out of 60 million hectares of total area are dumps of industrial waste, or as they are called by-products. About 8 million tons of ash and slag waste are generated in Ukraine every year, and their storage is accompanied by a number of extremely negative consequences for the environment and human health. With ash and slag dumps containing toxic elements polluting the ground water and underwater, require exclusion of large areas. The volume of already accumulated waste reaches more than 300 million tons and occupies huge areas of land. At the same time, almost all ash and slag dumps of Ukrainian coal-fired and thermal power plants are almost full, so more and more areas are needed to continue the work. **Analysis of recent research and publications.** According to European researchers, this type of waste disposal costs about 60 euros/ton. The average thermal power plant spends about 12...36 million euros a year just for the maintenance of ash dumps.

Keywords: ash and slag waste; harmful substances; toxic elements

Постановка проблеми. У наш час значна кількість золи використовується в будівельній індустрії (виробництво цементу, цегли, виробів із ніздрюватого бетону, шлакоблоків, легких заповнювачів, руберойду, керамзиту), у будівництві дамб золошлаковідвалів і ремонті доріг. За рахунок використання золошлакових матеріалів (ЗШМ) заощаджується до 30 % цементу й понад половина природних заповнювачів, знижується теплопровідність бетонів, зменшується маса будинків і споруд. Але в Україні використання золошлакових відходів, за даними Європейської асоціації продуктів згоряння вугілля (рис. 1), складає менше 20 %. Отож, використання ЗШВ являє собою одну з першорядних та актуальних екологічних проблем [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання золошлакових відходів ТЕС. Аналіз складу вугілля з різних родовищ показує, що його зольність, яка характеризує мінеральну складову, змінюється в широких межах і може досягати 50 % і більше. Основні компоненти мінеральної частини твердих горючих

копалин – це карбонати, сульфідні і глинисті матеріали, які зазнають у процесі термічної переробки значних перетворень.



Рис. 1. Дані Європейської асоціації продуктів згоряння вугілля щодо переробки вугільної золи

Золи поділяються на висококальцієві (вміст $\text{CaO} > 20\%$) і низькокальцієві (вміст $\text{CaO} < 20\%$). Інтегральною характеристикою хімічного складу зол є модуль основності MO , що для основних зол становить $\text{MO} > 0,9$; кислих – $0,6...0,9$; надкислих – $\text{MO} < 0,6$. В основних золах сумарний вміст суми оксидів кальцію й магнію досягає 50, у надкислих – 12 %.

Гранульовані шлаки являють собою механічну суміш зерен розміром 0,14...20 мм. Хімічний склад шлаків, як і зол, може змінюватися в широкому діапазоні – від надкислих ($MO < 0,1$) до основних ($MO > 1$). Багато паливних шлаків характеризуються значною кількістю (20 % і більше) оксидів заліза, що містяться в основному в захисній формі.

Вміст склоподібної фази становить 85...98 %, в основних шлаків він може бути значно нижчим. У кристалічній фазі можлива наявність двокальцієвого силікату, муліту, геленіту, псевдоволластоніту й інших мінералів. Теплова електростанція, яка працює на вугіллі, дає тверді відходи, що містять такі компоненти як SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O та інші. Також є сірка і сполуки на її основі. Велика частина (як правило, понад 90 %) припадає на дві основних сполуки – діоксид кремнію (SiO_2) – близько 65 %; діоксид алюмінію (Al_2O_3) – близько 25 %.

Ці сполуки можуть застосовуватися у виробництві будівельних матеріалів, таких як цегла, газобетон, сухі будівельні суміші, добавки для виробництва різних бетонів у будівельній індустрії, золошлакові суміші і золи сухого вловлювання – як сировина для цементів і безклінкерних в'язучих, бетонів (важких, легких, пористих), пористих заповнювачів, силікатних, керамічних, теплоізоляційних та інших матеріалів [4].

Згідно з даними європейських дослідників, поховання відходів обходиться в суму близько 60 євро/т. Середня ТЕС може витратити близько 12...36 млн євро в рік тільки на утримання золошламосховищ. Рівень утилізації золошлакових відходів у розвинених країнах становить близько 50 %, у Франції і Німеччині – 70 %, а в Фінляндії – близько 90 % їх поточного виходу. Європейська асоціація з утилізації продуктів згоряння вугілля (Coal Combustion Products) заснована в 1990 році. До неї входять 28 енергетичних компаній з 15 країн, що випускають 88 % золошлакових

матеріалів у ЄС. В Європі кратне збільшення обсягів переробки ЗШМ почалося з уведення загальних для Євросоюзу політичних директив, що регулюють викиди у вугільній промисловості. Найвідоміші стандарти – IPPC, LCPD, IED. У 2010 році країни Тихоокеанського регіону (Китай, Індонезія, Австралія) створили свою Азіатську асоціацію вугільної золи (Asian Coal Ash Association). Тут регулярно публікують звіти і рішення стосовно переробки золошлакових відходів.

Існує п'ять основних напрямків переробки ЗШМ (у порядку спадання популярності):

- будівельні матеріали (цемент, цегла, блоки) (рис. 2);
- дорожнє будівництво;
- будівельні проекти (монолітний стіновий матеріал);
- виробництво різних наповнювачів;
- сільське господарство (стабілізатори ґрунту).

Сфера використання зол: у дорожньому будівництві (для спорудження земляного полотна, влаштування для укріплених підстав, зведення насипів, влаштування дорожнього одягу), для стабілізації ґрунтів: зміцнення слабких ґрунтів (піски, торфовища), як добавки до в'язучих із метою їх економії для зміцнення ґрунтів; в асфальто- і цементобетонних розчинах (як заповнювач і мінеральний порошок в асфальтобетонах); для гідротехнічних насипних споруд, золи сухого вловлювання – сланцеву електрофільтрову золу (рис. 3) можна застосовувати як самостійне в'язуче, а також як активну добавку до неорганічних і органічних в'язких речовин [2].

Мікросфери (рис. 4). Діаметр частинок у середньому становить від 10...20 до 500 мк. Матеріал має низку унікальних властивостей: низьку щільність, високу механічну міцність, хімічну інертність, термостійкість, низьку теплопровідність.

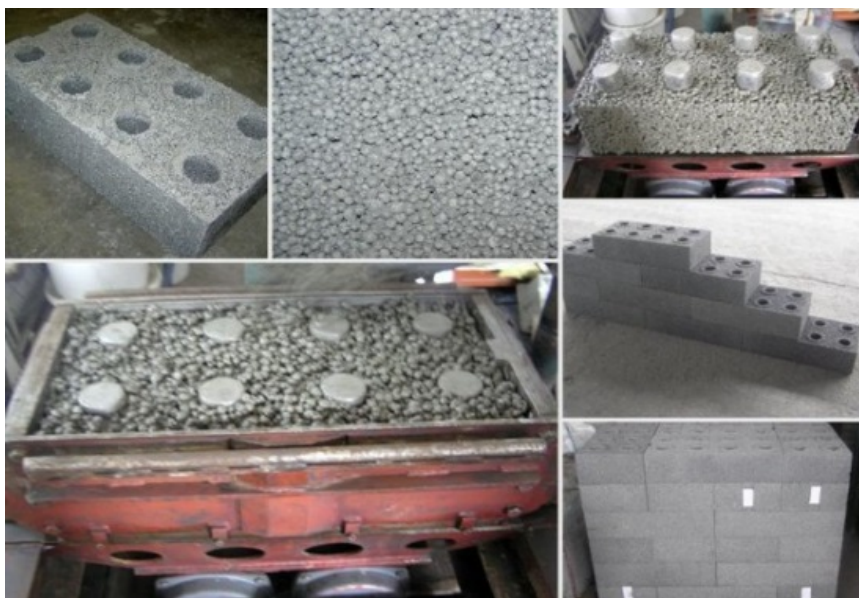


Рис. 2. Золошлакові блоки



Рис. 3. Зола сухого вловлювання



Рис. 4. Мікросфери

Сьогодні золовідвали української теплогенерації заповнені на 50 %, а в деяких випадках і зовсім на 95 %. Наприклад, наразі ТЕС компанії ДТЕК щорічно продукують близько 5 млн т вугільних відходів. Нескладно порахувати, що за таких темпів можливості для їх зберігання будуть вичерпані вже через 5–10 років. На деяких підприємствах ця ситуація ще гірша – їх золовідвали будуть переповнені всього через 3–4 роки.

В Україні основні покупці вторсировини, такі як суха зола або шлак, – це виробники будматеріалів: цементу, бетону і сухих сумішей (рис. 3). Раніше потенціал вторсировини був сильно недооцінений, тепер же його популярність почала зростати.

Спосіб отримання цементу, до складу якого входить змішаний і спільний помел портландцементного клінкеру з гіпсом та активна мінеральна алюмінієво-кремнієва добавка, яка відрізняється тим, що як активна мінеральна добавка використовуються техногенно термооброблений алюміній – кремній і відходи мінеральної сировини у вигляді золи – виносу ТЕС від спалення вугілля, термообробленого за 950...1 050 °С, або у вигляді золи териконів – горілої породи шахтних відвалів вугільних родовищ,

термооброблених за 600...850 °С, в кількості 5...25 % від ваги клінкеру [5].

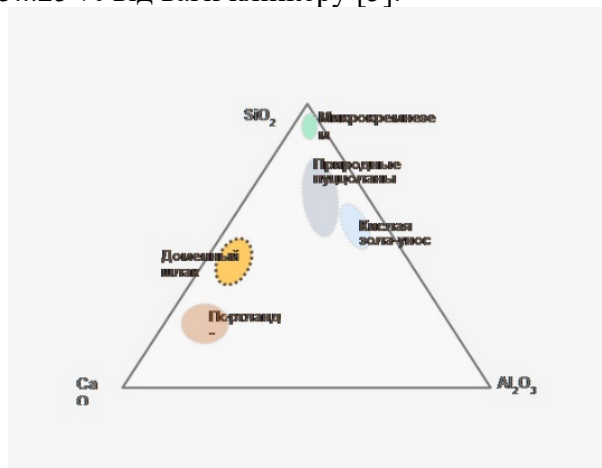


Рис. 5. Добавки (інертні; активні)

Високою стійкістю до дії води відрізняються автоклавні золобетони:

- інертні добавки-наповнювачі – вводяться для поліпшення гранулометричного складу цементу, ущільнення його структури (вапняк);
- активні мінеральні добавки – мають пуцоланічну активність, тобто взаємодіють з гідроксидом кальцію, який утворюється в значній кількості (15...20 %).



Рис. 6. Цех золи виносу для бетону

Проблема утилізації золошлакових відходів може бути вирішена за допомогою технології TITAN HYPERPRESS, вартість перетворення однієї тони золошлакових відходів на цеглу приблизно відповідає 20 євро.



Рис. 7. Потенціал використання відходів порожньої породи



Рис. 8. Різноманітність кольорів вихідного продукту

Комплексними в'язучими з активними компонентами у вигляді золи зміцнюються піщано-щебеневі ґрунти, одержувані подрібненням маломіцних вапнякових і піщаних (або інших) порід, дерева вивержених і метаморфічних порід, відходи після дробіння каменю або великоуламкові відходи промислових підприємств.

Досліджувалося зміцнення зв'язкових ґрунтів (суглинків і глин із числом пластичності до 21) золою з добавками хімічних речовин або як компонент комплексного в'язучого.

Велика кількість наукових досліджень вітчизняних і закордонних вчених присвячена вивченню золи-виносу як добавки в бетон замість частини цементу або як добавки у цемент (спільний помел із клінкером). Рекомендовано золу використовувати як добавку в бетон в кількості 10...30 % від маси цементу. Такий метод практично не підвищує водопотреби бетонної суміші. Однак, незважаючи на цей

факт, більшість результатів досліджень показують, що міцність бетону нормального твердіння в 28-добовому віці за часткової заміни цементу золою знижується порівняно з міцністю бетонів базового складу.

За даними багатьох дослідників добавка золи в невеликій кількості позитивно впливає на властивості бетону: зменшується тепловиділення в початковий період твердіння, знижуються усадкові деформації, а також зменшується повзучість бетону [6].

Аналіз результатів досліджень і досвід промислового використання золи-виносу ТЕС як добавки в бетон замість частини цементу в нашій країні і за кордоном показує, що такий напрямок використання золи поряд із певними перевагами має і недоліки, головні з яких – зниження міцності і довговічності бетону, незначна питома витрата золи (20...60 кг/м³ бетону).

Наразі незначні обсяги і низька ефективність використання золи на підприємствах будіндустрії, малі обсяги утилізації відходів енергетики не дозволяють проектувати на великих теплових електростанціях маловідходні та безвідходні технології.

Мали місце спроби підвищення питомої витрати золи в бетоні за рахунок заміни значної частинки цементу під час гідротехнічного будівництва. Однак у разі заміни золою 40...50 % цементу міцність бетону у віці 180 діб виявлялася значно нижчою за таку міцність у бетоні базового складу.

Новий підхід до використання в будівництві відходів ТЕС запропонував А. М. Сергєєв. Так, зола ТЕС розглядалася як найважливіший інгредієнт, який відіграє роль активного мікронаповнювача і виконує функцію структуротвірного мікрокомпонента. Переглянуто сформовані раніше уявлення про роль золи в золоцементних складах і запропоновано новий механізм твердіння золоцементних систем, що задовільно пояснює високу міцність висконаповненого золоцементного каменю і бетону в порівняно ранньому віці і в більш пізні терміни.

Дослідження А. М. Сергєєва показали, що шлак теплових електростанцій за комплексом фізико-механічних властивостей відповідає вимогам, які пред'являються до заповнювачів, і може бути використаний для виготовлення бетонів різних класів.

Досить високий ефект підвищення міцності бетону за теплової обробки досягався уведенням до складу бетонної суміші добавки (СДБ + ХК). Цей ефект найбільш значний в ранні терміни (одну добу), а в більш пізні терміни він знижується [7].

Л. І. Дворкін дослідив пластифіковані бетонні суміші з використанням золи ТЕС як активного мінерального наповнювача. Використання добавок суперпластифікаторів дозволило істотно збільшити ефект, який досягається за введення наповнювача, тобто дає економію цементу, підвищує міцність і поліпшує низку інших властивостей бетону.

Дослідження Л. І. Дворкіна також були пов'язані з отриманням ефективних литих бетонів із використанням зол ТЕС. Зазвичай отримання литих бетонів у виробничих умовах технологічно складніше, ніж приготування бетонів нормальної консистенції. Вони вимагають підвищеної витрати цементу, схильні до водовідділення і розшарування. Зола в складі литих бетонних сумішей із суперпластифікаторів позитивно впливає на їх життєздатність [8].

Висновки. Золошлакові суміші, золи і шлаки ТЕС можуть становити особливий інтерес для підприємств будівельної індустрії як компонент бетону. Зростаючі запаси цієї сировини змогли б значно знизити існуючий дефіцит наповнювачів бетону. Але непостійний зерновий склад золошлакових сумішей в різних місцях відвалу ускладнює їх використання як наповнювачів.

Багатокомпонентність цих сумішей і їх мінливість також ускладнюють вибір оптимального складу бетону.

Витрата цементу за використання золошлакової сировини часто була більшою, ніж у разі виготовлення бетонів тих же

характеристик на традиційних числі спрямованих на використання в заповнювачах. Як відомо, цей показник будівництві відходів промисловості. постає одним із критеріїв, за якими судять про ефективність нових розробок, у тому

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kolokhov V., Moroz L., Romin A., Kovregin V. Ash-slag waste of the coal-fired thermal power plant as a resource for the construction industry. *Materials Science Forum* this link is disabled. 2021. 1038 MSF. Pp. 290–295.
2. Lahtinen P. Fly ash mixtures as flexible structural materials for low-volume roads : dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Helsinki, 2001. 102 p.
3. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF regional conference. *European Transport and Roads*. 1999. Lahti. 7 p.
4. Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. Москва : Стройиздат, 1984. 255 с.
5. Сергеев А. М. Теория и практика массового использования зол и шлаков тепловых электростанций в производстве бетонов : автореф. дисс...д-ра техн. наук. Ленинград, 1988. 48 с.
6. Lahtinen P. Tuhkat huotykayttoon. Kuntatekn.-kommun-tekn. *Kunnallisteknukka*. 1997. № 5. P. 52.
7. Сергеев А.М. Використання у будівництві відходів енергетичної промисловості. Київ : Будівельник, 1984. 120 с.
8. Дворкин Л. И. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их состава. Москва : Инфра-Инженерия, 2017. 432 с.

REFERENCES

1. Kolokhov V., Moroz L., Romin A. and Kovregin V. Ash-slag waste of the coal-fired thermal power plant as a resource for the construction industry. *Materials Science Forum* this link is disabled. 2021, 1038 MSF, pp. 290–295.
2. Lahtinen P. Fly ash mixtures as flexible structural materials for low-volume roads : Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Helsinki, 2001, 102 p.
3. Lahtinen P., Jyrävä H. and Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference. *European Transport and Roads*. 1999, Lahti, 7 p.
4. Volzhensky A.V., Ivanov I.A. and Vinogradov B.N. *Primeneniye zol i toplivnykh shlahov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [The use of ash and fuel slag in the production of building materials]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1984, 255 p. (in Russian).
5. Sergeev A.M. *Teoriya i praktika massovogo ispol'zovaniya zol i shlahov teplovykh `elektrostancij v proizvodstve betonov : avtoref. diss...d-ra tehn. nauk* [Theory and practice of mass use of ashes and slags of thermal power plants in the production of concrete : abstract. dis ... Dr. Sc. (Tech.)]. Leningrad, 1988, 48 p. (in Russian).
6. Lahtinen P. Tuhkat huotykayttoon. Kuntatekn. – kommun-tekn. *Kunnallisteknukka*. 1997, no. 5, p. 52.
7. Sergeev A.M. *Vikoristannya u budivnictvi vidhodiv energetichnoï promislovosti* [Use of waste from the energy industry in construction]. Kyiv : Budyvelnik Publ., 1984, 120 p. (in Ukrainian).
8. Dvorkin L.I. *Ispytaniya betonov i rastvorov. Proyektirovaniye ikh sostava* [Testing of concrete and mortar. Designing their composition]. Moscow : Infra-Engineering Publ., 2017, 432 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 21.01.2022.

УДК 691-024

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.45.832

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ НА СТРУКТУРУ КОНГЛОМЕРАТИВ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

МАЦЕВИЧ І. М.¹, канд. техн. наук, доц.,

КОЛОХОВ В. В.², канд. техн. наук, доц.,

МОСЬПАН В. І.³, канд. техн. наук, доц.,

КРОЛЬ Р. М.^{4*}, канд. техн. наук, доц.,

ТИМОШЕНКО О. А.⁵, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-73, e-mail: ig.maz2012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4659-6471

² Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: vvkolokhov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2314-1477

³ Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: vovamospan@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

^{4*} Кафедра будівельних і дорожніх машин, 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, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

⁵ Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 452-43-63, e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Анотація. Постановка проблеми. Процес ущільнення сумішей будівельних виробів, які формуються або відформовані, – важливий етап утворення макроструктури, оскільки в цей період у середовищі в'язкої речовини порівняно стійко фіксуються зернисті й інші компоненти композиту, які його заповнюють. Велика кількість публікацій присвячена вивченню цього питання, проте багато аспектів впливу процесу ущільнення на структуру конгломерату ще не відомі, отримані результати не систематизовані. **Вступ.** Попереднє ущільнення суміші зменшує роз'єднаність частинок, переводячи зв'язки з точкових у міжфазні по межах контакту. З наближенням частинок на дуже малі відстані виникають і зростають сили відштовхування. В кінцевому рахунку діє результуюча сила, яка за деякої оптимальної відстані частинок одна від іншої забезпечує початкову зв'язність сирцю виробу. Фіксація відбувається як безпосереднім примиканням компонентів, у тому числі з можливістю зрощення (наприклад, кристалів), так і через прошарки повністю отверділої або поступово тверднучої в'язучої речовини. В конгломератних матеріалах більш типовий контакт через прошарки на стадії ущільнення, ніж безпосереднє контактування або зрощення частинок за впливу поверхневої енергії, хімічних зв'язків або інших, у тому числі комплексних, факторів. **Мета роботи** – встановлення особливостей у формуванні структури конгломерату від попереднього ущільнення суміші, а також його впливу на функціональні і технологічні характеристики. **Методи.** Розв'язання задачі оптимальної структури конгломерату вимагає виявлення залежності між видом, концентрацією, складом сировини, способом ущільнення і одержуваними функціональними характеристиками виробу. **Результати.** Оптимізація структури за одночасного забезпечення рівня заданих властивостей відповідає досягненню найвищої якості в матеріалі або виробі. Технологія за цим критерієм стає прогресивною. Для зменшення водопоглинання цементних бетонів необхідно забезпечувати оптимальні умови гідратації цементу та створення щільного конгломерату з мінімальною кількістю пор. У зв'язку з актуальністю створення будівельних матеріалів та виробів із матеріалів навколишнього середовища будівництва (грунтоблоків) та зменшення енергомісткості під час формування та пресування слід продовжити розробки технологій та конструкцій обладнання для отримання оптимальної структури конгломерату з мінімальним водопоглинанням. **Висновок.** Дослідження впливу ущільнення сировини на структуру конгломератів тривають, але вже ці отримані результати свідчать, що швидкість і форма утворення конгломерату істотно змінюються за оптимальних значень попередньо ущільненої сировини.

Ключові слова: ущільнення сировини; штучні будівельні конгломерати; структура; мікроструктура; мезоструктура; макроструктура

EFFECT OF THE COMPACTION PROCESS ON THE CONGLOMERATE STRUCTURE AT PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

MATSEVYCH I.M.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
KOLOKHOV V.V.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
MOSPAN V.I.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
KROL' R.M.^{4*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
TYMOSHENKO O.A.⁵, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Construction and Transportation Engineering, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-73, e-mail: ig.maz2012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4659-6471

² Department of Technologies of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-76; e-mail: vykolokhov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2314-1477

³ Department of Technologies of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-76, e-mail: vovamospan@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5359-9067

^{4*} Department of Building and Travelling of Machines, 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, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

⁵ Department of Ecology and Environmental Protection, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 452-43-63, e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Abstract. Formulation of the problem. The process of densification of mixtures of construction products that are being formed or molded is an important stage in the formation of a macrostructure, since during this period, granular and other components of the composite that fill it are relatively firmly fixed in a viscous medium. A large number of publications are devoted to the study of this issue, but many aspects of the effect of compaction on the structure of a conglomerate are not yet known, and the results obtained have not been systematized. **Introduction.** Preliminary compaction of the mixture reduces the fragmentation of particles, transferring bonds from point to interfacial along the contact boundaries. With the approach of particles to very small distances, repulsive forces arise and increase. Ultimately, the resultant force acts, which, at a certain optimal distance of particles from one another, provides the initial cohesion of the raw product. Fixation occurs both directly by adjoining the components, including with the possibility of intergrowth (for example, crystals), and through interlayers of a completely hardened or gradually hardening binder. In conglomerate materials, contact through interlayers at the compaction stage is more typical than direct contact or coalescence of particles under the influence of surface energy, chemical bonds, or other, including complex, factors. **Objective.** The aim of the work was to establish the features in the formation of the structure of the conglomerate from the preliminary compaction of the mixture, as well as its influence on the functional and technological characteristics. **Methods.** Solving the problem of the optimal structure of a conglomerate requires identifying the relationship between the type, concentration, composition of raw materials, the method of compaction and the resulting functional characteristics of the product. **Results.** Optimization of the structure while maintaining the level of desired properties corresponds to achieving the highest quality in a material or product. Technology by this criterion becomes progressive. To reduce the water penetration of cement concretes, it is necessary to provide optimal conditions for cement hydration and the creation of a dense conglomerate with a minimum number of pores. In connection with the relevance of creating building materials and products from materials of the construction environment (soil blocks) and reducing energy consumption during molding and pressing, it is necessary to continue the development of technologies and equipment designs to obtain the optimal conglomerate structure with minimal water penetration. **Conclusion.** Studies of the effect of compaction of raw materials on the structure of conglomerates are ongoing, but already these results indicate that the rate and form of conglomerate formation change significantly at optimal values of pre-compacted raw materials.

Keywords : *compaction of raw materials; artificial building conglomerates; structure; microstructure; meso-structure; macrostructure*

У процесі виготовлення будівельних матеріалів і виробів сировина піддається комплексу механічних, хімічних, фізико-хімічних теплових та ін. впливів. У результаті реалізації та певної

послідовності цих технологічних впливів сировина або змінює тільки форму і розмір частинок речовини, отримує більшу однорідність і очищається від забруднення, або зазнає значних змін складу, внутрішньої

структури і якісних характеристик [1].

Штучні будівельні конгломерати (ШБК) – будівельні матеріали, в яких заповнювач зцементований в моноліт [2]. Елементи структури ШБК такі:

- заповнювальна частина;
- в'язуча частина – матриця;
- пори і капіляри;
- контактний шар на межі матриця – заповнювач.

Під структурою ШБК будемо розуміти будову матеріалу на різних рівнях – від атомно-молекулярного до макроструктури. Зазвичай структуру ШБК розглядають на трьох рівнях: макро-, мезо- та мікроструктура.

Залежно від концентрації заповнювальної частини ШБК штучні будівельні конгломерати класифікуються на такі види мезо- і макроструктури:

- плавуча (відсутні контакти між заповнювачами);
- контактна;
- крупнопориста – обсяг матриці менший обсягу порожнин між заповнювачами.

Кожен різновид будівельних матеріалів і виробів потребує специфічної технології, яка виражається своїм регламентом, параметрами режимів, мінімальним обсягом витраченої енергії і сировинних ресурсів, досягненням економічно ефективних результатів і високими показниками якості готової продукції.

За великої різноманітності специфічних технологій матеріалів і виробів вони містять і низку типових операцій (переробок). Це пов'язано з тим, що в їх основі лежать однакові фізичні або фізико-хімічні залежності, подібні кінематичні схеми дії обладнання і машинного парку, загальні методи використання теплової або іншої енергії тощо. До типових переробок, які зумовлюють процеси структуроутворення у матеріалів та виробів, належать :

- підготовчі роботи;
- змішування від дозованих сировинних компонентів;
- формування одержуваної суміші (маси) й ущільнення відформованих

виробів;

- спеціальна обробка ущільнених виробів до повного їх затвердіння;
- технічний контроль якості готової продукції;
- контроль за кондицією технологічного регламенту;
- транспортування сировини і змішаних сумішей (маси);
- переміщення готових виробів;
- складування сировини і виготовленої продукції (напівфабрикату або фабрикату);
- зберігання матеріалів на складах.

Для ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів та сумішей виділяють шість найпоширеніших способів формування та ущільнення : вібраційне, за допомогою закритої прес-форми, за допомогою наконечника, ізостатичне, імпульсне, прокатне [3; 4]. Найпоширеніший і найпопулярніший вид ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів – гранулювання.

Розсипна сировина складається із двох фаз : твердої, що містить деяку кількість вологи, і газоподібної, яка заповнює простір між частинками. Кількісне співвідношення цих фаз до і після пресування на грануляторах змінюється. Ефективність процесу гранулювання залежить від механізму утворення гранул, який, у свою чергу, визначається способом гранулювання. У зв'язку з цим методи гранулювання сипких матеріалів доцільно класифікувати таким чином :

- скочення (формування гранул у процесі їх агрегації або пошарового росту з подальшим ущільненням структури);
- пресування сухих порошоків (отримання брикетів, плиток тощо з подальшим їх подрібненням на гранули необхідного розміру);
- формування або екструзія (продавлювання в'язкої або пастоподібної маси через отвори).

Гранулювання методом скочування полягає в попередньому утворенні агрегатів із рівномірно змочених частинок або в нашаровуванні сухих частинок на змочені ядра – центри утворення гранул. Цей процес

зумовлений дією капілярно-адсорбційних сил зчеплення між частинками і подальшим ущільненням структури, викликаним силами взаємодії між частинками в щільному динамічному шарі, наприклад, у грануляторах барабанного або тарілчастого типів.

Гранулювання методом пресування сухих порошків, тобто ущільнення за дії зовнішніх сил, засноване на формуванні щільної структури речовини, що зумовлено виникненням міцних когезійних зв'язків між частинками за їх стиснення. Отриманий в результаті ущільнення брикет (плитка, стрічка) подрібнюють і спрямовують на розсівання для відбору кондиційної фракції гранул, що являють собою готовий продукт.

Гранулювання методом формування або екструзії полягає в продавлюванні пастоподібної маси, що являє собою або зволожену шихту, або суміш порошку з легкоплавким компонентом, через перфоровані пристосування з подальшим сушінням гранул або їх охолодженням.

На частинки сипких матеріалів при створенні та формуванні гранул можуть впливати такі сили: капілярні і поверхнево-активні сили на межі розділу твердої і рідкої фаз; адгезійні сили, що виникають в адсорбованих шарах; сили тяжіння між твердими частинками (молекулярні сили Ван-дер-Ваальса та сили електростатичного притягання); сили зв'язків, зумовлені утворенням матеріальних містків, які виникають під час спікання, хімічної реакції, затвердіння сполучного компонента, плавлення і кристалізації розчиненої речовини під час сушіння.

За гранулювання методом скочування більш результативними стають зв'язки між частинками, зумовлені капілярними силами, що пояснюється використанням рідкофазного сполучного та утворенням кристалічних містків.

Ущільнення виробів, які формуються або відформовані, – важливий етап утворення макроструктури, оскільки в цей період у середовищі в'язкої речовини порівняно стійко фіксуються зернисті й інші компоненти композиту, які його

заповнюють.

Свіжовиготовлена суміш (маса) володіє певною зручнооброблюваністю, що виражається в її реальній здатності сприймати технологічні операції з формування та ущільнення виробів.

Суміші з вельми малою в'язкістю (літі) практично не потребують ущільнення під час формування виробів або покриттів, що становить значну технологічну зручність. Для відтворення литтєвої технології в суміш уводять нерідко відповідні пластифікатори або навіть суперпластифікатори. Введені навіть у малих кількостях, вони сприяють різкому зниженню в'язкості суміші, полегшуючи формування виробів і в тому випадку, коли їх обриси відрізняються підвищеною складністю. Тієї ж мети досягають додатковим збільшенням кількості рідинного середовища в суміші (масі), що повинно бути кожний раз обґрунтовано із загальних позицій оптимізації структури і вимог до конкретних видів оптимальних структур.

Вироби з пластичних мас оцінюються методами реології. Основними параметрами пластичності служать:

- в'язкість найбільшої незруйнованої структури (η_0);
- структурна в'язкість (η);
- в'язкість найменша за повністю зруйнованої структури (η_m). Тому $\eta_0 > \eta > \eta_m$;
- межа плинності p_k ;
- умовна статична межа плинності p_{k1} ;
- умовна динамічна межа плинності p_{k2} (рис. 1).

Є й інші характеристики реологічних властивостей маси в її пластичному стані – миттєвий модуль пружності, еластичний модуль пружності, період релаксації та ін. Комплекс таких характеристик дозволяє встановлювати величину допустимих напружень у процесі формування і ущільнення. Наприклад, необхідно, щоб напруга зсуву в масі не перевищила p_{k2} , за якої ще відсутня повна руйнація структури, тому що це спричинить у стрічковому пресі розрив стрічки маси, що в разі пластичної глини дасть дефект у структурі,

позбавляючи її оптимальності за цим критерієм.

У разі використання сумішей з підвищеною в'язкістю, які володіють на реологічній кривій умовною динамічною межею плинності і граничним напруженням зсуву, важливо не допустити під час формування напружень, які здатні зруйнувати суцільність виробу. Так, наприклад, у деяких випадках відмічається утворення дефектів структури (звиль), якщо допустити напруження в масі, яке перевищує P_{K2} (рис. 1).

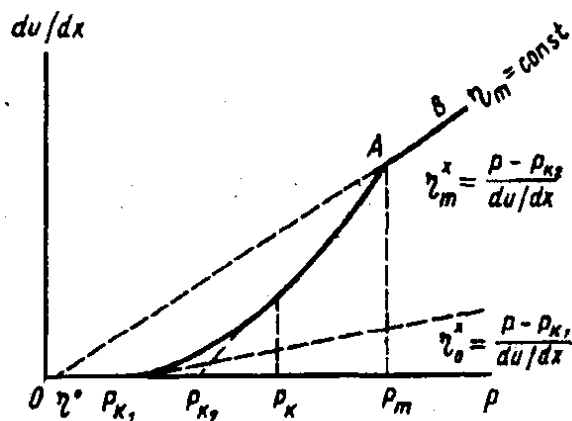


Рис. 1. Реологічна крива, або крива течії в системі координат «напруга (P) зсуву – градієнт швидкості (du/dx) деформації»

Досвід показує, що для сумішей, які добре формуються, значення відношення P_{K1}/η повинно бути не нижче $2 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Конкретні і точні межі реологічних характеристик залежать від різновиду суміші і технологічного засобу формування – пластичного, вібраційного без привантажувача або з привантажувачем і т. п.

Найбільшого значення щільності прагнуть отримати ще на стадії підготовки сировини – порошоків, суспензій, грубозернистих сумішей та інших формувальних систем, особливо у виробництві випалювальних ШБК. Попереднє ущільнення суміші зменшує роз'єднаність частинок, переводячи зв'язки з точкових у міжфазні по межах контакту.

Залежно від різновиду суміші (маси) формування відбувається з використанням укладальників, пресів (наприклад,

стрічкових), екструдерів, каландрів й інших машин. Вибір оптимального способу формування і ущільнення залежить від характеру вихідної сировини і масовості виробництва, потрібних властивостей і виду виробу. Але за всіх способів важливо забезпечити зв'язність і початкову міцність виробів із наступним зміцненням їх на інших стадіях обробки. Початкова зв'язність виникає за впливу молекулярних (Ван-дер-Ваальса) сил. Вони мають електричну природу і здатні розвивати тяжіння частинок при їх зближенні. Силу взаємодії двох частинок (умовно приймаємо їх сферичними) розраховують за формулою:

$$P = 4\pi \frac{r_1 - r_2}{r_1 + r_2} \sigma,$$

де r_1 і r_2 – відповідно радіуси двох сусідніх частинок; σ – поверхнева енергія на межі розділу фаз.

З наближенням частинок на дуже малі відстані виникають і зростають сили відштовхування. В кінцевому рахунку діє результуюча сила, яка за деякої оптимальної відстані частинок одна від іншої забезпечує початкову зв'язність сирцю виробу.

Фіксація може відбуватися як безпосереднім примиканням компонентів, у тому числі з можливістю зрощення (наприклад, кристалів), так і через прошарки повністю отверділої або поступово тверднучої в'язучої речовини. Контакт через прошарки на стадії ущільнення більш типовий в конгломератних матеріалах, ніж безпосереднє контактування або зрощення частинок за впливу поверхневої енергії, хімічних зв'язків або інших, у тому числі комплексних, факторів.

Унаслідок зближення частинок суміші (маси) відбувається розподіл і вирівнювання молекулярного силового поля, тепло- і масообмін, зокрема, міграція середовища в зони менших напружень. Об'єм суміші (маси) як під час ущільнення, так і після нього зменшується, а полідисперсна система поступово переходить у стан відносно стійкої рівноваги за заданої умови формування виробів. Залежно від зручності обробляння готової суміші (маси) можливі і

деякі специфічні особливості формування макроструктури ШБК.

Активний розвиток у перші 28 діб (особливо в початковий термін твердіння) процесів гідратації цементу, формування і становлення структури (пористості) цементного каменю сприяє переходу значної частини води замішування в хіміко-фізичний зв'язаний стан [5]. У результаті взаємодії клінкерних мінералів із водою формуються новоутворення (конгломерати у вигляді кристалогідратів силікатів, алюмінатів, феритів), які займають дещо менший обсяг, ніж початковий сумарний обсяг системи : «цемент + вода + затиснене повітря».

У результаті одночасно із цим утворюється пористість відкрита, сполучена (контракційна, капілярна), яка здатна заповнитися водою, тому що має певний потенціал «капілярного підсосу», і гідрофільністю твердої фази (стінок капілярів, які формуються). Цей ефект посилюється в повітряно-сухих умовах тверднення цементного каменю і бетону в цілому за рахунок, з одного боку, випаровування частини води замішування, а з іншого – через гальмування в силу цього реакцій гідратації цементу (за 28 діб ступінь гідратації $\alpha \sim 55...60\%$).

У результаті зростає відкрита пористість, що відбивається в зростанні кількості води, яка поглинається бетоном, і величиною водопоглинання. Очевидно, що зниження якості ущільнення бетону як дрібнозернистого, так і того, що містить великий заповнювач, за відповідного зростання його капілярної пористості супроводжується підвищенням проникності, зростанням кількості води, яка ним поглинається.

За ущільнення малорухомих і жорстких сумішей, які містять, як правило, знижену кількість в'язучої речовини або зменшену кількість рідкого середовища в ній, витрачається значно більша робота, ніж за ущільнення пластичних, рухомих або литих сумішей (мас). Різними прийомами доводиться примусово зближувати полідисперсні зерна, витісняючи частину

в'язучої речовини в міжзернові пори та порожнини або в пори і пази зерен заповнювача. Більша частина заповнювача в об'ємі моноліту контактує через тонкі або найтонші прошарки в'язучої речовини. У разі недостатньої кількості в'язучої речовини прошарки стають дискретними, що збільшує пористість і зміст повітря (або іншої газової фази) в ШБК.

У випалювальних конгломератах поширені способи напівсухого гідростатичного пресування, віброформування, а також гарячого пресування.

Для досягнення необхідної щільності застосовують різні способи зниження реологічного опору суміші, яка формується :

- введення поверхнево-активних речовин, пластифікаторів і суперпластифікаторів;
- попередній нагрів;
- вібраційний вплив;
- вакуумування та ін.

За особливо інтенсивного ущільнення доцільно підвищити реологічний опір до максимуму. За оптимальної технології кожній консистенції суміші (маси) відповідають певні параметри механічного ущільнення. Кожному способу і кожній інтенсивності механічного ущільнення також відповідає своя певна консистенція, і тоді розміщення частинок твердої фази в результаті ущільнення суміші стає компактним.

У багатьох технологіях формування і ущільнення суміші поєднуються в одну операцію, в результаті чого хімічні і фізико-хімічні процеси, які забезпечують структуроутворення на мікро- та макрорівнях, відбуваються також одночасно. До них відносять :

- тиксотропне розрідження і зміцнення;
- масо- та теплообмін;
- переміщення заповнювальної і в'язкої частин відносно одна одної з утворенням щільної структури до кінця виконання такої поєднаної операції.

Природно, що в цей період не припиняються (хоча й уповільнюються) головні структуротвірні процеси – сорбційні, розчинення та інші, які подібно

до того, як це було на стадії перемішування суміші, завершуються виникненням нових з'єднань і фаз, хоча і в порівняно обмежених кількостях. Набагато вбільших розмірах вони виділяються на наступних стадіях технології, наприклад під час теплової обробки відформованих і ущільнених виробів.

У деяких технологіях використовується переривчасте, ступеневе ущільнення, наприклад, з інтервалом часу між двома вібраціями або пресуваннями.

Повторне ущільнення сприяє ніби вторинному – пластичному деформуванню конгломерату з віджиманням середовища з його мікро- і макропор, а в кінцевому підсумку – додатковому ущільненню в умовах, коли кількість в'язкої речовини продовжує залишатися в межах допустимих відхилень від рекомендованого.

Повторне ущільнення, особливо за вібраційних способів формування, сприяє релаксації напружень, що виникають під час структуроутворення, зменшує розміри і концентрацію структурних дефектів.

Від формування та ущільнення певною мірою залежать не тільки характер структуроутворення зі збереженням однакової компактності укладання частинок, а й текстурні особливості виробу. Наприклад, можлива переорієнтація частинок, у результаті якої широкий розтин частинок і пор нерідко розташовується в площинах, паралельних площині пресування, з появою анізотропії. Можливе також часткове подрібнення зерен довгастої форми або зміна (зменшення) обсягу.

За напівсухого пресування обсяг отриманого виробу може виявитися в 1,5 ... 2 рази меншим обсягу вільно насипаної суміші (маси). Природно, що тоді скорочується і пористість. Так, із формули О. С. Бережного:

$$\Pi = a - \epsilon \cdot \lg p,$$

де Π – загальна пористість, %; a , ϵ – сталі коефіцієнти, причому стала a як пористість початкової маси перед пресуванням 50 %, а ϵ відображає здатність до ущільнення; p – тиск пресування, МПа,

впливає, що в разі $p \approx 100$ МПа, в багатьох випадках $\epsilon = 15$ і $\Pi \approx 20$ %, тобто пористість скоротилася у 2,5 раза (50 : 20). Розподіл тиску по вертикалі знижується від штамп, що спричинює неоднорідність у пористості відформованого сирого виробу (сирцю).

Неоднорідність залежить не тільки від висоти виробу, а й від гідравлічного радіуса:

$$R = 2F/I,$$

де F – площа; I – периметр виробу.

Нерівномірність пористості фіксується і в горизонтальних перетинах: найбільша щільність утворюється у верхніх горизонтальних перетинах сирцю біля стінок прес-форми, зменшуючись до центра. В нижніх перетинах спостерігається зворотне явище, а в середніх по висоті перетинах – зона рівнопористості. Тип преса теж має значення, але щільність сирцю завжди залежить від величини тиску, технологічних властивостей маси і часу дії тиску преса; іноді важливо обумовити також і швидкість наростання максимального тиску за ущільнення [6].

Крім звичайних пресів (механічних, гідравлічних) у деяких технологіях використовують пресування методом вибуху з утворенням надвисоких тисків миттєвої дії зі зміною кристалохімічної будови речовини. Способом пластичного формування ущільнення здійснюється в стрічкових пресах (найчастіше вакуумних) із подальшим допресуванням.

Найхарактерніше у технологіях із вібраційним формуванням – надання швидкостей і прискорень частинкам маси і, як наслідок, ослаблення сил внутрішнього тертя і молекулярних зв'язків, а також тиксотропне руйнування первинних структур (рис. 2).

Частинки переміщуються відносно одна одної із щільним укладанням. Використовують поверхневі, навісні, глибинні вібратори, вібростоли, вібротрамбівки тощо. Інтенсивність вібрації виражають у вигляді віброприскорення W , $\text{см}/\text{с}^2$:

$$W = A\omega^2 = A \cdot 4\pi^2 f^2,$$

де A – амплітуда коливань (половина найбільшого розмаху); ω – кутова швидкість, рад/с; f – частота коливань, Гц.

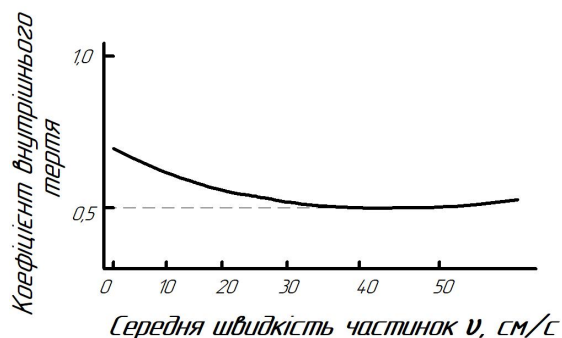


Рис. 2. Залежність коефіцієнта внутрішнього тертя віброваної маси від середньої швидкості переміщення частинок, см/с : $v = A\omega$, де A – амплітуда коливань; f – частота коливань, Гц

Добуток величин A та ω дає середню швидкість руху частинок під час вібрації. Є оптимальні значення амплітуди, віброприскорення, які залежать від глибини проробки шару маси. Вібрування з прискоренням, яке перевищує оптимальне, супроводжується розпушуванням і диференціацією частинок за крупністю. Розпушення усувають шляхом привантаження під час вібрації, наприклад, до 8...10 МПа. Оптимальний час вібрування визначають дослідним шляхом.

Під час вібраційного пресування досягається задана пористість виробів зі значно меншими витратами енергії, ніж за статичного пресування. Крім того, зростає якість виробів, немає анізотропії властивостей, формується більш рівномірна структура. Ефективність вібропресування в низці технологій підвищується шляхом поєднання з вакуумуванням.

Ґрунти являють собою трифазну систему з мінеральними частинками, водою та повітрям. Мета пресування полягає в отриманні високоущільнених виробів за рахунок усунення вільного простору між частинками та їх пластичної деформації, а також у наданні їм необхідних розмірів та форми. Режими пресування, залежно від напрямків зусиль, односторонній та двосторонній; за кратністю прикладання зусилля – одно- та багаторазове; за характером зусилля – ударне та статичне

(стискування) [7–10].

Початок пресування сировини супроводжується її ущільненням за рахунок зміщення частинок між собою та їх наближення. При цьому відбувається часткове вилучення повітря з матеріалу.

Наступна стадія ущільнення характеризується пластичною необоротною деформацією частинок. При цьому збільшується контактна поверхня між частинками. Одночасно із цим ущільнення кожної елементарної частинки супроводжується витісненням вологи з її глибинних шарів на контактну поверхню частинки. На завершальній стадії ущільнення настає пружна деформація частинок. Стадія супроводжується їх крихким руйнуванням, за якого пресування отримує найбільше ущільнення і найбільше зчеплення.

Зменшити енергомісткість формування матеріалів дозволяє технологія зонного нагнітання сировини [11], основою якої постає ефект текучого клина. Технологія зонного нагнітання – це одна з базових технологій, застосованих у багатьох галузях промисловості. У першу чергу – у промисловості будівельних матеріалів, а також у дорожньому будівництві, в порошковій металургії, у виробництві вогнетривких матеріалів, у ливарному та низці інших виробництв, де потрібно отримати щільні структури із сипких середовищ.

Ефект текучого клина – це утворення локальної щільної плинної зони корельовано рухомих частинок сипкого середовища. Основна властивість згаданого ефекту полягає в тому, що щільність матеріалу в зоні та її геометричні розміри залишаються незмінними, незважаючи на безперервне вдавлювання в зону нових порцій матеріалу. При цьому знову вдавлювані порції витісняють із зони такий же обсяг матеріалу, який займають самі, що викликає постійне оновлення або, інакше, течії матеріалу в ній.

У технології випалювальних ШБК широко використовують так зване шлікерне лиття для отримання тонкостінних виробів

або виробів великого розміру і складної форми. Шлікер – водна суспензія глин, каолінів, інших тугоплавких речовин із частинками розміром близько 10^{-4} см, які несуть певний іонний потенціал (ІП)

$$\text{ІП} = Z/r,$$

де Z – заряд катіона; r – його іонний радіус.

За значень $\text{ІП} = 65 \dots 100$ (суспензія з кислих матеріалів) отримують підвищені значення щільності відливки, тобто з відносною щільністю, рівною $0,8 \dots 0,9$. Спосіб шлікерного лиття більш залежний від природи сировини, ніж інші способи ущільнення.

Для формування та ущільнення нерідко застосовують торкретування з перенесенням суміші до поверхні за допомогою стиснутого повітря. Такий спосіб дозволяє отримувати досить щільний шар формованої речовини. Однак при цьому відбувається неминуча втрата використовуваної суміші у зв'язку з відскоком частинок.

Висновки.

1. Оптимізація структури з одночасним забезпеченням рівня заданих властивостей відповідає досягненню найвищої якості в матеріалі або виробі. Технологія за цим критерієм стає прогресивною.

2. Для зменшення водопоглинання цементних бетонів необхідно забезпечувати оптимальні умови гідратації цементу та створення щільного конгломерату з мінімальною кількістю пор;

3. У зв'язку з актуальністю створення будівельних матеріалів та виробів із матеріалів навколишнього середовища будівництва (грунтоблоків) та зменшення енергомісткості під час формування та пресування слід продовжити розробки технологій та конструкцій обладнання для отримання оптимальної структури конгломерату з мінімальним водопоглинанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пашенко Т. М., Світла З. І. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2013. 330 с.
2. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение : учеб. пособ. для бакалавров. 4-е изд. Москва : Издательство Юрайт, 2014. 701 с.
3. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матер. І Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 01–24 квітня 2020 р.). Мелітополь : ТДАТУ, 2020. 485 с.
4. Комар А. С., Болтянська Н. І. Огляд способів ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 238–244.
5. Батяновский Э. И., Бондарович А. И. Вибропресованный бетон : технология и свойства. Минск : БНТУ, 2018. 263 с. ISBN 978-985-583-088-8.
6. Шлегель И. Ф. Проблемы полусухого прессования кирпича. Москва : Стройматериалы, 2005. С. 18–19.
7. Савицький М. В., Шатов С. В., Новиченко Н. В., Кучук І. П., Довгаленко Д. О. Удосконалення технологічного обладнання для виготовлення ґрунтоблоків. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития*. Вып. 68. 2013. С. 368–375.
8. Савицький М. В., Шатов С. В. Мобільне технологічне обладнання для виготовлення ґрунтоблоків. // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 75. 2014. С. 34–42.
9. Шатов С. В., Савицький М. В., Євсєєв Є. О. Удосконалення технологічного процесу виготовлення ґрунтоблоків. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения*. Вып. 91. 2016. С. 168–172.
10. Шатов С. В., Савицький М. В., Євсєєв Є. О. Організаційно-технологічні рішення виготовлення ґрунтоблоків. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития*. Вып. 81. 2016. С. 261–267.
11. Зубкин В. Е., Коновалов В. М., Королев Н. Е. Зонное нагнетание сыпучих сред. Москва : ООО ИнноЦентр.Ру, 2011. 161 с.

REFERENCES

1. Pashchenko T.M. and Svitla Z.I. *Budivsel'ne materialoznavstvo: navchal'nij posibnik* [Building materials science :

Tutorial]. Kyiv : Agrarna osvita Publ., 2013, 330 p. (in Ukrainian).

2. Ryb'yev I.A. *Stroitel'noye materialovedeniye: ucheb, posobiye dlya bakalavrov* [Building materials science: textbook, manual for bachelors]. Moscow : Izdatel'stvo Yurayt, 2014, 701 p. (in Russian).

3. *Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi : materialy I Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konferentsiyi (Melitopol', 01–24 kvitnya 2020 r.)* [Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex : materials I International. scientific-practical Internet conference (Melitopol, April 1–24, 2020)]. Melitopol' : TDATU, 2020, 485 p. (in Ukrainian).

4. Komar A.S. and Boltyans'ka N.I. *Ohlyad sposobiv uschil'nennya poroshkopodibnykh ta dribnykh sypanykh materialiv* [Review of methods of compaction of powdered and fine bulk materials]. Melitopol' : TDATU, 2020, pp. 238–244. (in Ukrainian).

5. Batyanovskiy E.I. and Bondarovich A.I. *Vibropressovanny beton : tekhnologiya i svoystva* [Vibropressed concrete : technology and properties]. Minsk : BNTU, 2018, 263 p. ISBN 978-985-583-088-8. (in Russian).

6. Shlehel' I.F. *Problemy polukhohogo pressovannya kirpicha* [Problems of semi-dry pressing of bricks]. Moscow : Stroymaterialy Publ., 2005, pp. 18–19. (in Russian).

7. Savyts'kyi M.V., Shatov S.V., Novychenko N.V., Kuchuk I.P. and Dovhalenko D.O. *Udoskonalennya tekhnolohichnoho obladnannya dlya vyhotovlennya hruntoblokov* [Improvement of technological equipment for the manufacture of soil blocks]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye. Seriya : Sozdaniye vysokotekhnologicheskikh ekokompleksov v Ukraine na osnove kontseptsii sbalansirovannogo (ustoychivogo) razvitiya* [Construction. Materials Science. Engineering. Series : Creation of high-tech eco-complexes in Ukraine based on the concept of balanced (sustainable) development]. Vol. 68, 2013, pp. 368–375. (in Ukrainian).

8. Savyts'kyi M.V. and Shatov S.V. *Mobil'ne tekhnolohichne obladnannya dlya vyhotovlennya hruntoblokov* [Mobile technological equipment for the manufacture of soil blocks]. *Stroytel'stvo. Materyalovedeniye. Mashynostroyeniye* [Construction. Materials Science. Engineering]. Vol. 75, 2014, pp. 34–42. (in Ukrainian).

9. Shatov S.V., Savyts'kyi M.V. and Yevsyeyev Yev.O. *Udoskonalennya tekhnolohichnoho protsesu vyhotovlennya hruntoblokov* [Improvement of technological process of making soil blocks]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye. Seriya: Innovatsionnyye tekhnologii zhiznennogo tsikla ob'yektiv zhilishchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya* [Construction. Materials Science. Engineering. Series : Creation of high-tech eco-complexes in Ukraine based on the concept of balanced (sustainable) development]. Vol. 91, 2016, pp. 168–172. (in Ukrainian).

10. Savyts'kyi M.V., Shatov S.V. and Yevsyeyev Yev.O. *Orhanizatsiyno-tekhnolohichni rishennya vyhotovlennya hruntoblokov* [Organizational and technological solutions for the manufacture of soil blocks]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye. Seriya: Sozdaniye vysokotekhnologicheskikh ekokompleksov v Ukraine na osnove kontseptsii sbalansirovannogo (ustoychivogo) razvitiya* [Construction. Materials Science. Engineering. Series : Creation of high-tech eco-complexes in Ukraine based on the concept of balanced (sustainable) development]. Vol. 81, 2016, pp. 261–267. (in Ukrainian).

11. Zubkin V.E., Konovalov V.M. and Korol'ov N.E. *Zonnoye nagnetaniye sypuchykh sred* [Zone injection of bulk media]. Moscow : OOO YnnoTsentr.Ru, 2011, 161 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 21.02.2022.

УДК 728.536:625.712.14

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.55.833

ПРОПОЗИЦІЇ РІШЕНЬ ІЗ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ НА ВОДІ В УКРАЇНІ

КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.¹, докт. техн. наук, проф.,
ДЬЯЧЕНКО Л. Ю.², канд. техн. наук, доц.,
ДЬЯЧЕНКО О. С.^{3*}, асист.

¹ Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

² Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: dyachenkopiop@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

^{3*} Кафедра архітектури, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-32, e-mail: olgadiachenko303@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2591-3274

Анотація. Постановка проблеми. Україна має велику кількість водних артерій та вихід до моря. Вони являють собою необмежені резерви енергії та ресурсів, які можна використати на користь людям, але одночасно розливи річок навесні можуть бути чинником небезпеки, і тому спорудження будівель на воді стає частковим вирішенням цієї проблеми. Прибережна зона сприятлива з точки зору кліматичних умов для будівництва міст. Збільшення кількості комфортного та безпечного житла великих мегаполісів, підвищення ефективності забудови водних артерій України та прибережних зон, задовільнення запиту індустрії рекреації та дозвілля – основні завдання у проєктуванні та спорудженні енергоефективних плавучих будівель. **Мета статті** – провести пошук найбільш раціональних архітектурно-конструктивних рішень та технологій будівництва енергоефективних будівель на воді, розглянути конструктивні особливості модулів, які використовуються для будівель різної конфігурації в плані; запропонувати рішення із розроблення проєктів енергоефективних будівель на воді в Україні. **Висновки.** В результаті проведених досліджень складено рекомендації щодо використання різних об'ємно-планувальних та конструктивних рішень плавучих будівель, застосування для них інженерних комунікацій та обладнання. Запропоновано використовувати для плавучих будівель енергоефективні технології: сонячні батареї, дизельні генератори, вітряні генератори. Наводиться перелік різних за формою елементів, що слугують модулями для створення збірно-розбірних прямокутних і круглих у плані будівель, а також наводиться перелік матеріалів, що використовуються для їх виробництва. Наведено рішення з улаштування основ та фундаментів плавучої будівлі для різних кліматичних та гідрогеологічних умов районів будівництва. Енергоефективні будинки на воді стали альтернативою будинків на суші як екологічно життєздатні будівлі у великих містах. Можливість зведення будівель на воді в районах України, де паводки і повені мають систематичний характер – це альтернативні рішення в боротьбі з водною стихією.

Ключові слова: плавуча будівля; модульні будівлі; понтони; пальово-гвинтові основи; вітряні генератори; сонячні батареї; дизельні генератори; енергоефективні технології

PROPOSALS OF SOLUTIONS OF THE PROJECT DEVELOPMENTS OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS ON WATER IN UKRAINE

KRAVCHUNOVSKA T.S.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
DIACHENKO L.Yu.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
DIACHENKO O.S.^{3*}, Ass.

¹ Department of Construction Organization and Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

² Department of Construction Organization and Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: dyachenkopiop@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

^{3*} Department of Architecture, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-32, e-mail: olgadiachenko303@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2591-3274

Abstract. Problem statement. Ukraine has a large number of waterways and access to the sea. They are unlimited reserves of energy and resources that can be used for the benefit of people, but at the same time spring floods can be a danger, and therefore the construction of buildings on the water is a partial solution to this problem. The coastal zone is favorable in terms of climatic conditions for urban development. Increasing the number of comfortable and safe housing in large cities, increasing the efficiency of construction of waterways in Ukraine and coastal areas, meeting the demand of the recreation and leisure industry is the main task in the design and construction of energy efficient floating buildings. **The purpose of the article.** Search for the most rational architectural and design solutions and technologies for the construction of energy efficient buildings on the water. Consider the design features of the modules used for buildings of different configurations in the plan. Propose solutions for the development of projects for energy efficient buildings on the water in Ukraine. **Conclusions.** As a result of the research, recommendations were given on the use of various spatial planning and design solutions of floating buildings, the use of utilities and equipment. It is proposed to use energy efficient technologies for floating buildings: solar panels, diesel generators, wind generators. The list of the elements of various forms serving as modules for creation of collapsible rectangular and round in the plan of the buildings is resulted, and also the list of the materials used at their manufacture is resulted. The decision on arrangement of bases and the bases of a floating building for various climatic and hydrogeological conditions of areas of construction is resulted. Energy efficient houses on the water are an alternative to houses on land as environmentally viable buildings in large cities. The possibility of erecting buildings on the water in areas of Ukraine where floods and inundations are systematic is an alternative solution in the fight against the water element.

Keywords: *floating building; modular buildings; pontoons; pile-screw bases; wind generators; solar panels; diesel generators; energy-efficient technologies*

Постановка проблеми. Україна має велику кількість водних артерій та вихід до моря. Вони являють собою необмежені резерви енергії та ресурсів, які можна використати на користь людям, але одночасно розливи річок навесні можуть бути чинником небезпеки, і тому спорудження будівель на воді стає частковим вирішенням цієї проблеми. Прибережна зона сприятлива з точки зору кліматичних умов для будівництва міст. Збільшення кількості комфортного та безпечного житла великих мегаполісів, підвищення ефективності забудови водних артерій України та прибережних зон, задовільнення запиту індустрії рекреації та дозвілля – основне завдання у проєктуванні та спорудженні енергоефективних плавучих будівель.

Аналіз публікацій. Останнім часом у світі великою популярністю користуються енергоефективні будівлі на воді.

Розглянемо екологічний плавучий будинок, ексклюзивно створений відомим італійським архітектором Джанкарло Зема [1; 2]. Будівля являє собою житловий блок площею понад 100 м², діаметром близько 12 м і 4 м заввишки. Він повністю виготовлений з переробленої клесної деревини й алюмінію (рис. 1).



Рис. 1. Енергоефективний плавучий будинок італійського архітектора Джанкарло Зема

Балкони зручно розташовані з боків і завдяки великим вікнам дозволяють насолоджуватися чудовими краєвидами. Мансардні вікна ванних кімнат і кухонь розташовані на дерев'яному даху.

Також нагорі будинку розташовані аморфні фотоелектричні панелі площею 60 м², потужністю 4 кВт/пік. Вироблена панелями електроенергія використовується для внутрішніх потреб плавучого будинку.

Такий будинок можна встановлювати вздовж русла річок, озер, заток, атолів і морських районів зі спокійними водами. Корпус будівлі повністю складається з легкосплавного алюмінію, який має високу стійкість до ударів, корозії і на 100 відсотків

підлягає вторинній переробці. А фотоелектричні панелі, встановлені на дерев'яному даху, відрізняються від звичайних низьким витратами енергії, яка необхідна для їх виробництва.

З кожним роком на планеті залишається все менше простору для життя людей на суші. Італійський дизайнер П'єрпаоло Лаззаріні запропонував вирішити житлову проблему за допомогою особливих плавучих будинків (рис. 2).



Рис. 2. Проект плавучого міста Wayaland

Проект називається Wayaland. Така ж назва буде і у першого водного поселення. До проекту входять не тільки житлові будинки, а й готельні комплекси.

Плавучі будинки матимуть форму піраміди. У проєкті Лаззаріні будинки оснащені сонячними панелями і водними турбінами [1].

Максимальна висота будинків становитиме 30 м над рівнем води. Кожен будинок споруджуватиметься з вуглецевого волокна, скловолокна і сталі.

Модульні блоки дозволять створити за бажанням замовника будинки з різним функціональним призначенням, конфігурацією та кількістю поверхів.

Передбачена не лише надводна частина, а й підводна. Технічні приміщення розташуються під рівнем моря. Кожен будинок плавучого міста оснащений пристанню для човнів.

У США та Швейцарії дуже популярні будівлі на палях.

Найскладніше у спорудженні будинку на пальовому фундаменті – це створення

проекту. Необхідно провести інженерно-геологічні та гідрогеологічні вишукування. Потім викопати дослідний шурф. Це рекомендується робити навесні, коли рівень ґрунтових вод перебуває на максимумі. Під час проектування також необхідно визначитися з кількістю паль та їх видом. Для зведення фундаменту на воді краще всього використовувати гвинтові та залізобетонні палі (рис. 3).



Рис. 3. Будинок на палях, острови Бора-Бора

Мета статті – провести пошук найбільш раціональних архітектурно-конструктивних рішень та технологій зведення енергоефективних будівель на воді; розглянути конструктивні особливості модулів, які використовують для будівель різної конфігурації в плані; запропонувати рішення із розроблення проєктів енергоефективних будівель на воді в Україні.

Результати досліджень. Основні вимоги до сучасного житла на воді такі [6]:

- ергономічно обґрунтована антропогенна система безпеки та комфортності проживання людини на воді;
- забезпечення відповідної апаратури та можливості ефективного управління енергопостачанням; при цьому рівень вимог постійно збільшується зі зростанням технічних та економічних можливостей людини;
- забезпечення екологічної рівноваги природного та штучного довкілля у місцях розташування житлових комплексів (індивідуальних чи колективних) на воді.

Принцип динамічної мінливості, цей ключовий у формоутворенні споруд на воді і наявних живих структур принцип, визначив

використання модульності, мобільності та трансформації як основних властивостей, що адаптуються.

Модульність житла на воді проявляється як у конструкції самих будівель, так і в конструкції їх основи. Це може бути як статична пальова, так і плавуча основа, що відрізняється не тільки модульністю, а й мобільністю. Завдяки модульності та комбінаториці понтонні основи придатні для різних типів об'єктів, як малогабаритних (малоповерхові будинки, ресторани, готелі, лазні, елінги), так і великогабаритних (комплекс будівель, плавучі міста), і можуть складатися в різні структури і, крім функції основи для будівництва, служити причалом для швартування суден, пірсом для активного відпочинку або відкритим майданчиком для різних функцій.

Розглянемо конструктивні особливості модулів, які використовують для будівель різної конфігурації в плані, таких як [6]:

1. Прямокутні:

- квадратний або прямокутний у перерізі брус (складає пальово-зрубний тип конструкції);

- прямокутні або квадратні панелі (монтуються на несний каркас; слугують огорожувальними конструкціями в пальово-каркасному типі будинку, а також будь-якого прямокутного в плані плавучого будинку, що має каркасну конструкцію);

- несні прямокутні або квадратні панелі (відрізняються від вищезгаданого типу тим, що вони не тільки огорожувальні, а й несні, їх монтаж виконується без каркаса);

- об'ємний модуль (формує кілька стін будівлі одночасно, наприклад, С-подібний модуль, що стикується по довгій стороні і утворює три площини: підлогу, що перетікає в стіну і стелю).

2. Круглі або овальні:

- модуль у формі вигнутої або плоскої прямокутної панелі (за вертикального з'єднання яких утворюється кругла у плані будівля).

Пропонуються також:

- трикутний модуль, складений із сталевих каркасів (мережа із трикутників

утворює оболонку купола за принципом геодезичних куполів Б. Фуллера) [2];

- шестигранний модуль (призначений для створення будинків і з стільниковою конструкцією купола);

- модуль у вигляді вигнутої площини (утворює конструкцію на кшталт «черепашки»).

Використання перелічених вище модулів має такі переваги: можливість виготовлення на заводі з монтажем на місці розташування будинку; легкість транспортування завдяки збірно-розбірній конструкції; легкість монтажу, що у більшості випадків не потребує спеціального обладнання; варіабельність об'ємно-просторової та планувальної композиції; адаптивність конструкції та можливість виробництва у промислових масштабах [6].

Технології зведення будівель на воді.

1. *Будівля на понтоні.* Технологія зведення будівель на воді з використанням понтонів з'явилася нещодавно. Заснована вона на застосуванні спеціальних понтонів, які поєднуються між собою в єдину плавучу платформу. Ця платформа і тримає на воді будівлю. Незважаючи на досить значну вагу, а деякі плавучі будинки можуть бути дуже великими і розрахованими на кілька десятків людей, конструкція має хорошу стійкість і властивості судна, яке добре тримається на плаву і не тоне.

Конструкція понтона дозволяє складати основу для будівництва, отримуючи необхідну водотоннажність за рахунок підбору ширини плавучої основи та висоти борту. Зазвичай у плавучих будівлях, зведених на понтонах, центр тяжіння розташований близько до палуби за рахунок великої маси самих залізобетонних понтонів. Тому коливання при слабких хвилях та вітрі майже відсутні, а вся конструкція витримує сильні пориви вітру без наслідків [7].

2. *Будівлі на бетонних дебаркадерах, що буксуються.* Ця технологія більш монументальна. В основному така технологія використовується для спорудження плавучих ресторанів або

готелів, але є приклади її реалізації під час будівництва житлових будинків. Основна перевага подібних будинків на воді в тому, що вони надають свободу для реалізації будь-яких архітектурних задумів, тут практично немає обмежень для фантазії дизайнерів та архітекторів. На міцному бетонному дебаркадері можна зводити досить великі будинки в кілька поверхів [10].

3. *Будівлі на палях.* Гвинтові палі вважаються найпростішим видом, їх установлюють без застосування спецтехніки простим вкручуванням у ґрунт.

Будівництво плавучої будівлі *на пально-гвинтовій основі*. Зведення будівлі та пірсу можливе практично в будь-який прибережній місцевості, крім крутих обривчастих берегів. Необхідно попередньо обстежити дно, заміряти швидкість течії і розробити схему установки гвинтових опор. Найважливіше у влаштуванні причалу – металевий каркас, що зв'язує пальові опори в єдину потужну конструкцію, протидіє бічним льодовим навантаженням [11]. Від правильного вибору і якості паль залежить міцність і термін служби будівлі і причалу.

Гвинтові опори, виготовлені згідно з вимогами технології, слугуватимуть 50 і більше років, а якісно зварений металокаркас із швелера або двотаврової балки забезпечить на довгі десятиліття непохитність пальових опор за бічних навантажень. Для зведення будівлі та пірсу на озері потрібно з'ясувати висоту льодоходу весняних вод. Якщо будинок зводиться на річці зі швидкою течією, застосовують спеціальні льодохідні палі. Їх головна особливість – довжина, яка дозволяє помістити опори на більшу глибину і досягти кращої стійкості.

Переважно будівлі на воді зводять у зимовий час. Пересуваючись по кризі, будівельники пробивають лунки і загвинчують палі в дно. У теплу пору будівництво проводиться за допомогою понтонів, але це спричинює додаткові труднощі. Поміст плавучих будівель оптимально робити з модрини. Така деревина має високу міцність та стійка до

гниття. Дошки з хвойних порід дерева застосовувати можна, але тільки обробивши їх антисептиком. Раз на 2–3 роки всі дерев'яні частини будівлі та пірса необхідно обробляти засобами від гниття і руйнування.

Пілонні фундаменти. Застосування пілона дозволяє підвищити конструктивні, функціональні та естетичні характеристики будівель на воді.

Перерозподіл навантаження несних конструкцій дає можливість вільного функціонального зонування приміщень будівлі. Поєднання пальових та пілонних фундаментів може розширити варіанти проектних рішень [1; 13].

Найважливішим показником і характеристикою формування типології конструкцій постають матеріали і технології, що використовуються у спорудженні сучасної будівлі на воді. Матеріали можна поділити на традиційні (дерево, бамбук, камінь, метал і очерет) та сучасні (скло, бетон, пластмаса, склопластик, фанера).

Виходячи зі специфіки водного середовища, найбільш актуальні такі технології [4; 5; 8]:

- економія енергетичних та природних ресурсів;
- комплексні заходи щодо зниження споживання енергії, що включають теплоізоляцію, інсоляцію, встановлення сонячних батарей, використання енергії вітру;
- використання поновлюваних матеріалів та ресурсів (у т. ч. вторинне використання);
- утилізація промислових та побутових відходів;
- підвищення ефективності споживання води за допомогою опріснення та використання очищених стічних та дощових вод; залежно від ступеня їх очищення вони можуть служити для різних цілей, задовольняючи потреби людини у господарстві та особисті;
- забезпечення сприятливого внутрішнього клімату, що характеризується використанням озелених просторів, які сприяють поглинанню вуглекислого газу та

очищенню повітря, а також придатних для сільськогосподарських потреб та ефективної природної вентиляції;

– зниження витрат енергії протягом життєвого циклу плавучої споруди, які включають не тільки експлуатацію, а й витрати на видобуток сировини, виготовлення, реставрацію та утилізацію в разі потреби.

Пропозиції рішень із розроблення проєктів енергоефективних будівель на воді в Україні:

1. Зводити будинок за модульною каркасною технологією з дерева або легких сталевих тонкостінних конструкцій [3–7]. Всі комунікації слід ретельно загерметизувати, оскільки вологість у будинку буде високою.

2. Для м'якого клімату південних районів України придатні різні види понтонів, залежно від розрахункового навантаження.

3. Зводити будівлі на воді із застосуванням пальових фундаментів у регіонах із затопленим і болотистим ґрунтом.

4. Використовувати залізобетонні палі для будівництва великих об'єктів, тому що вони витримують максимальне навантаження.

5. Максимальну стійкість і надійність забезпечують залізобетонні палі квадратного перетину, занурені в ґрунт на 6–15 метрів.

6. Спеціальні льодохідні палі застосовувати, якщо будинок зводиться на річці зі швидкою течією.

7. Якщо планується з якихось причин перенести будівлю, краще використати гвинтові опори, які можна викрутити і встановити на новому місці.

8. Розширити варіанти проєктних рішень можна за рахунок використання пальових та пілонних фундаментів у поєднанні.

9. Якщо житло розташоване далеко від міста, необхідно розглянути такі системи автономного енергопостачання: дизельні генератори, сонячні батареї або вітряні генератори [10].

10. Сучасні фільтри й установки з очищення води дозволяють використовувати для побутових потреб навіть воду з тієї ж водойми, в якій «плаває» будинок.

11. Установити систему автономної каналізації з біологічним очищенням стічних вод.

12. Використовувати вакуумні геліоколектори. Якщо потрібний більш бюджетний варіант системи опалення, можна задіяти опалювальний котел, підібравши оптимальну за продуктивністю і видом палива модель [1; 10].

Висновки. В результаті проведених досліджень складено рекомендації щодо використання різних об'ємно-планувальних та конструктивних рішень плавучих будівель, застосування для них інженерних комунікацій та обладнання. Запропоновано використовувати для плавучих будівель енергоефективні технології: сонячні батареї, дизельні генератори, вітряні генератори.

Наводиться перелік різних за формою елементів, що слугують модулями для створення збірно-розбірних прямокутних і круглих у плані будівель, а також перелік матеріалів, які використовуються при їх виробництві.

Пропонується рішення щодо влаштування основ та фундаментів плавучої будівлі для різних кліматичних та гідрогеологічних умов районів будівництва.

Енергоефективні будинки на воді становлять альтернативу будинкам на суші як екологічно життєздатні будівлі в великих містах. Можливість зведення будівель на воді в районах України, де паводки і повені мають систематичний характер – це альтернативне рішення у боротьбі з водною стихією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бадьин Г. М., Сычёв С. А., Макаридзе Г. Д. Технологии строительства и реконструкции энергоэффективных зданий. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2017. 464 с.

2. Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С. Пропозиції рішень із розроблення проєктів енергоефективних геобудинків в Україні. *Архітектурний вісник Київського національного університету будівництва та архітектури*. 2021. Вип. 22–23. 240 с. URL: doi: 1032347/2519-8661.2021.22-23.183-189.
3. Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С. Зведення енергоефективних малоповерхових будівель за каркасно-панельною технологією – СІП технологією. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 4. С. 23–28. URL: doi: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.24.507.
4. Шехоркина С. Е., Матюшенко И. Н., Савицкий Н. В. Исследование долговечности железобетонных понтонов, эксплуатируемых на водных объектах Украины. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. № 1–2. С. 64–69. URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/38933/35242>.
5. Шехоркіна С. Є. Рациональное проектирование конструкций малоповерховых жилых зданий на воде : дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук (спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди). Науковий керівник д. т. н., проф. Савицький Микола Васильович. ПДАБА : Дніпропетровськ, 2013. 125 с.
6. Казаков Ю. Н., Тимошук О. А. Технология возведения энергоэффективных малоэтажных жилых домов: учеб. пособ. для студ. направления «Строительство» и граждан. Санкт-Петербург: Palmarium Academic Publishing, 2019. 124 с.
7. Мороз А. М. Технология монтажа индивидуальных жилых домов из быстровозводимых конструкций. Санкт-Петербург : Лань, 2018. 128 с.
8. Шумская О. Р. Принципы формообразования жилья на воде. Москва, 2014. 229 с.
9. Экономов И. С. Принципы формирования малоэтажных жилых объектов на воде. Москва, 2010. 235 с.
10. Исанова А. В., Драпалюк Н. А., Мартыненко Г. Н., Драпалюк Д. А. Энергоресурсосбережение при проектировании, строительстве и эксплуатации жилого здания : учеб. пособ. Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
11. Hellweg U. Floating Homes at Rummelsburg Bay in Berlin. Wasserstadt GmbH, 2012. 25 p.
12. Flanagan Barbara. The Houseboat Book. New York : Universe Publishing, 2003. 191 p.
13. Mornement Adam Boathouses. London, Frances Lincoln Limited, 2010. Pp. 132–137.

REFERENCES

1. Badiin G.M., Syrov S.A. and Makaridze G.D. *Tehnologii stroitelstva i rekonstruktsii energoefektivnykh zdaniy* [Technologies for the construction and reconstruction of energy efficient buildings]. Saint-Petersburg : BHV-Peterburg, 2017, 464 p. (in Russian).
2. Diachenko L.Yu. and Diachenko O.S. *Propozytsii rishen iz rozroblennia proektiv enerhoefektyvnykh heobudynkiv v Ukraini* [Proposals of solutions of the project developments of energy-efficient geo-houses in Ukraine]. *Arkhitekturnyi visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu budivnytstva i arkhitektury* [Architectural Bulletin of Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture]. 2021, vol. 22–23, 240 p. URL: doi: 1032347/2519-8661.2021.22-23.183-189 (in Ukrainian).
3. Diachenko L.Yu. and Diachenko O.S. *Zvedennia enerhoefektyvnykh malopoverkhovykh budivel za karkasno-panelnoi tekhnolohiiei – SIP tekhnolohiiei* [Construction of energy-efficient low-floor buildings by frame-panel technologies – sip technologies]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, no. 4, pp. 23–28. URL: doi: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.24.507 (in Ukrainian).
4. Shekhorkina S.Yev., Matyushenko I.N. and Savitskyi N.V. *Issledovanie dolgovechnosti zhelezobetonnykh pontonov, ekspluatiruemyyh na vodnykh ob'ekтах Ukrainy* [Study of the durability of reinforced concrete pontoons operated on water bodies of Ukraine]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2013, no. 1–2, pp. 64–69. (in Russian). URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/38933/35242>
5. Shekhorkina S.Yev. *Racional'ne proektuvannya konstrukcij malopoverhovykh zhitlovykh budivel' na vodi : dis. na zdob. nauk. stup. kand. tehn. nauk (special'nist' 05.23.01 - budivel'ni konstrukcii, budivli ta sporudi)* [Rational design of low-rise residential buildings on the water : dissert. for the degree of Cand. Tech. Sc. (specialty 05.23.01 – Civil Engineering Structures, Buildings and Structures)]. Supervisor Dr. Sc., Prof. Savitskyi Mykola Vasyliovych. PSACEA : Dnipropetrovsk, 2013, 125 p. (in Ukrainian).
6. Kazakov Yu.N. and Timoschuk O.A. *Tehnologiya vozvedenie energoefektivnykh maloetazhnykh zhilykh domov: uchebnoe posobie dlya studentov napravleniya «stroitelstvo» i grazhdan* [Technology for the construction of energy-efficient low-rise residential buildings : textbook allowance for stud. direction “Civil Engineering” and citizens]. Saint-Petersburg : Palmarium Academic Publishing, 2019, 124 p. (in Russian).
7. Moroz A.M. *Tehnologiya montazha individualnykh zhilykh domov iz byistrovozvodimykh konstruktsiy* [Installation technology for individual residential buildings from pre-fabricated structures]. Saint-Petersburg : Lan, 2018, 128 p. (in Russian).
8. Shumskaya O.R. *Principy formoobrazovaniya zhil'ya na vode* [Principles of shaping housing on water]. 2014, 229 p. (in Russian).

9. Ekonomov I.S. *Principi formirovaniya maloetazhnykh zhilykh obektov na vode* [The principles of the formation of low-rise residential buildings on the water]. Moscow, 2010, 235 p. (in Russian).

10. Isanova A.V., Drapalyuk N.A., Martynenko G.N. and Drapalyuk D.A. *Energoresursosberezhenie pri proektirovanii, stroitelstve i ekspluatatsii zhilogo fonda : uchebnoe posobie* [Energy saving in the design, construction and operation of the housing stock : textbook allowance]. Moscow; Vologda : Infra-Inzheneriya Publ., 2021, 156 p. (in Russian).

11. Hellweg U. Floating Homes at Rummelsburg Bay in Berlin. Wasserstadt GmbH, 2012, 25 p.

12. Flanagan Barbara. The Houseboat Book. New York : Universe Publishing, 2003, 191 p.

13. Mornement Adam. Boathouses. London, Frances Lincoln Limited, 2010, pp. 132–137.

Надійшла до редакції: 12.01.2022.

УДК 692

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.63.834

УПРОВАДЖЕННЯ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ОСНОВИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ В КЕРУВАННІ БУДІВНИЦТВОМ

ЧАШИН Д. Ю.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

РАХМАНІН О. А.², студ.,

ХІЛЬ Д. В.³, студ.

^{1*} Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 890-81-81, e-mail: chashyn.dmytro@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-9349

² Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (099) 919-05-38, e-mail: rapco99@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0826-3273

³ Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 822-78-97, e-mail: dashahil99@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2800-5885

Анотація. Постановка проблеми. Висвітлено питання ефективності використання ВІМ-технологій для реалізації сучасних вимог скорочення термінів і вартості проєктування, оптимізації проєктних рішень на основі досвіду проєктування нових будівель і споруд, забезпечення необхідною інформаційною підтримкою інвестиційного проєкту впродовж усього його життєвого циклу. **Мета статті** – обґрунтування методичних положень щодо застосування методів оптимізації наявних виробничих ресурсів будівельних підприємств, виявлення резервів ресурсного потенціалу для раціонального його використання та підвищення економічної ефективності будівельної діяльності.

Ключові слова: ВІМ-технології; інформаційне моделювання; оптимізація; інформаційні технології

INTRODUCTION OF BIM-TECHNOLOGIES AS A BASIS FOR CREATION OF COMPLEX INFORMATION MODELS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT

CHASHYN D.Yu.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

RAKHMANNIN O.A.², Stud.,

KHIL D.V.³, Stud.

^{1*} Department of Organization and Management in Construction, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 890-81-81, e-mail: chashyn.dmytro@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-9349

² Department of Organization and Management in Construction, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (099) 919-05-38, e-mail: rapco99@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0826-3273

³ Department of Organization and Management in Construction, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (098) 822-78-97, e-mail: dashahil99@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2800-5885

Abstract. Formulation of the problem. The article discusses the opportunities that arise when using BIM-technologies, and the problems that can be solved with this technology. In addition, the authors analyze the effectiveness of this technology. According to research, the use of BIM-technologies helps to increase profits and profitability, reduce costs, increase productivity, reduce the total cost of the project. The article is devoted to the effectiveness of BIM technologies to implement modern requirements to reduce the time and cost of design, optimize design solutions based on experience in designing new buildings and structures, providing the necessary information support of the investment project throughout its life cycle. Optimization of design, construction and further operation management. Comprehensive inheritance of accumulated knowledge and data in digital form. Continuity of control of conformity of the received results to the set / forecasted parameters (strategic indicators). Implementation of CIM

(Complex Information Models) at all stages of construction production. Control of budgets, investments and profitability with the layout of projects and assets. **The purpose of the article.** The purpose of the article is to substantiate the methodological provisions for the application of methods for optimizing the existing production resources of construction companies, identifying reserves of resource potential for its rational use and improving the economic efficiency of construction activities using CIM and BIM technologies.

Keywords: *BIM-technologies; information modeling; optimization; information technologies*

Вступ. Будівельне інформаційне моделювання (BIM) – це термін, який найчастіше використовується для визначення набору параметричних інструментів та процесів створення та обслуговування інтегрованої спільної бази даних багатовимірної інформації щодо проєктування, будівництва та експлуатації будівлі з метою поліпшення співпраці між зацікавленими сторонами, що скорочує час, необхідний для документального оформлення проєкту [1].

У більшості випадків сучасні спеціалісти у галузі управління будівництвом поки що неправильно сприймають особливості BIM-технологій. Найчастіше помилка полягає в тому, що вони вважають, ніби BIM являє собою єдину модель або базу даних. Ми повинні мати на увазі, що комплексні BIM не зможуть замінити людину. BIM зменшує зайві та повсякденні роботи та полегшує обробку даних, але саме люди вводять дані в модель. Ще одна хибна думка – що спеціалісти вважають BIM-моделі на 100 % точними та адекватними, хоча це не так. Тому що люди здатні допускати помилки в процесі обробки інформації, які у свій час впливають на кінцевий результат BIM.

Технологія BIM спрямована на вдосконалення кожної і з стадій життєвого циклу інвестиційно-будівельного проєкту, яке досягається за рахунок взаємопроникнення регламентів, процесів і інтегрованої технології моделювання упродовж усього життєвого циклу об'єкту будівництва, від передпроєктної стадії до експлуатації.

У будівельній галузі використання BIM змінює взаємодію між замовниками, підрядниками, проєктувальниками і незліченною кількістю інших учасників процесу будівництва. Звичайно, якщо ці зміни відбуваються на високому рівні,

наприклад, коли замовник хоче змінити не просто спосіб ведення конкретного проєкту, а й весь ланцюжок взаємодії – зміни в реалізації проєкту і міжпроєктної координації можуть бути набагато масштабнішими. Буде помилкою сказати, що окремі проєктні й будівельні компанії не виграють від використання BIM (насправді, вони отримують помітні переваги), але внесок BIM на рівні загальної взаємодії ще значніший, особливо для значних інвестиційних проєктів.

Аналіз даних. У дослідженнях і публікаціях [1–7] визначено кілька цілей, серед них основною метою було визначити, які аспекти BIM показують більше переваг для будівельних проєктів. Проєктами передбачається, як правило, шість видів діяльності з використання BIM: візуалізація, 3D-координація, оцінювання витрат, планування зведення об'єкта та моніторинг будівництва і модель запису.

Візуалізація – це, як правило, найпростіше використання інформаційної моделі будівлі. Як тільки буде створено інформаційну модель будівлі, можна більш детально оцінити вартість будівельного проєкту.

3D-координація використовується для виявлення та усунення управлінських зіткнень та конфліктів. До того ж, детальні попередньо виготовлені креслення можуть бути створені для перегляду та координації роботи між будівельниками. Після того, як креслення готові для початку будівництва, збірка компонентів будівельного об'єкта може бути придатна для проєктування.

BIM на основі 4D-планування допомагає зрозуміти складові компоненти та запланувати процес найбільш раціональним, що, своєю чергою, дає результати більш раціонального планування будівництва.

Методи планування та 3D-модель можна поєднати з іншими інструментами з

підтримкою BIM для забезпечення надання будівництву послуги моніторингу. На основі моніторингу будівництва можна розробити успішну стратегію. Це, своєю чергою, допомагає переглянути та оновити план будівництва та 3D-модель. Нарешті, модель запису може бути створена як остаточний результат [8].

Основні принципи впровадження.

Для ефективного впровадження BIM-систем та BIM-технологій зміни повинні торкатися усіх сфер діяльності організації. Неможливо окремо впровадити технологію тільки в IT-департаменті, виробничому відділі, на рівні окремого проєкту або окремої спеціалізації. Подібний підхід дає деякі результати, але у результаті не викликає значних змін, приносячи лише малу частку переваг, які можливі за повного впровадження BIM-технологій. Є багато прикладів, коли впровадження BIM-технологій відбувалося тільки на рівні виконавців або тільки в IT-департаменті, і це давало незадовільні результати, а іноді і просто провалювалося. Нерідко часткове впровадження приносило свої плоди, наприклад, деяку економію коштів; проте при цьому все ж втрачалися найбільш значні переваги, які могли бути отримані за повного впровадження [2].

У моделі впровадження, яка розглядається в цій статті, ініціатива виходить від менеджерів вищої ланки; розроблену на цьому рівні концепцію лідери доносять до рядових співробітників. Модель впровадження ґрунтується на трьох взаємозв'язаних принципах:

Концепція. Для успішного впровадження BIM-технологій керівництво повинне сформулювати концепцію і чітко усвідомлювати, які переваги принесе перехід на BIM-технології, які основні принципи змін, як відбуватиметься розвиток на різних етапах впровадження. Це має бути не просто загальна концепція – треба усвідомлювати, як зміниться компанія в результаті впровадження BIM-технологій.

Команда BIM. Керівники організації, яка впроваджує BIM-технології, повинні мотивувати своїх співробітників. У процесі впровадження будуть періоди підйомів і

спадів енергії і натхнення, і керівники повинні забезпечити стійкий курс змін у будь-який із цих періодів. Вони повинні стежити за тим, щоб будь-які зміни в діяльності рядових співробітників відповідали прийнятій концепції.

Поетапна зміна. Основна рушійна сила впровадження BIM-технологій – рядові співробітники. Для успішного впровадження BIM-технологій зміни повинні проводитися поступово та приносити результат на кожному етапі, і пронизувати усі сфери діяльності компанії. Реорганізація просувається шляхом введення нових регламентів і стандартів, управління змінами на організаційному рівні, зміни процесів та інструментів.

Концепція BIM. Ясно сформульована концепція допоможе уникнути підводних каменів, що підстерігають компанію на шляху радикальних змін. Без чіткої концепції та вмілого керування на рівні вищої ланки спроби впровадження BIM-технологій спричинять нераціональну витрату ресурсів. Використання досвіду впровадження BIM-технологій, описаного в різних публікаціях [3; 5; 7; 8], буває корисним на початковому етапі, проте єдиного стандарту, який підійшов би будь-якій організації, не існує. Для успішного впровадження BIM-технологій компанії потрібна власна стратегія, яка враховує специфічні особливості її діяльності.

Отже, успішне впровадження повинне розпочинатися з розроблення концепції. Це може здатися очевидним, проте, незважаючи на це, багато компаній обмежуються впровадженням BIM-технологій на рівні окремих проєктів. Для того, щоб отримати усі переваги BIM-технологій, керівники вищої ланки повинні навчитися думати, взаємодіяти і ставити завдання у рамках BIM-систем (в деяких випадках для цього потрібне додаткове навчання). Керівництво повинне поставити перехід на BIM-технології в один ряд із головними цілями в масштабах усієї організації. Не варто забувати, що якщо впровадження BIM-технологій відбувається тільки на рівні виробничих відділів,

неможливо добитися істотних поліпшень [3].

Ключові моменти розроблення ефективної концепції BIM.

Мотивація. Концепція має бути масштабною і досить мотивувальною, щоб охопити усю компанію. Якщо BIM впроваджується як чергова звичайна технологія, це не дасть організації потрібного імпульсу і достатньої мотивації. У прийнятій концепції шлях до досягнення масштабних цілей має бути поділений на етапи (див. «Поділ на етапи» нижче). Треба мати чітке уявлення про те, яку групу працівників організації зачіпають зміни на кожному етапі, а також які з етапів найбільш важливі. Пастка, в яку попадаються більшість компаній, – постановка високих цілей на незначних проміжних етапах.

П'ять питань. Для того, щоб донести концепцію BIM до працівників, потрібні ясність і стислість. П'ять питань: Хто? Що? Де? Коли? і Навіщо? – розкриють співробітникам деталі концепції BIM і допоможуть сформулювати чітке уявлення про те, що конкретно від них потрібно. Деякі з цих питань можуть виявитися досить складними, і відповіді на них керівництву компанії доведеться узяти на себе.

Поділ на етапи. Впровадження BIM-технологій – непросте завдання, і при його виконання (особливо на початку) виникають труднощі з визначенням конкретних дій. Уникнути їх можна, поділивши виконання загального завдання на етапи. Крім того, завершення кожного з етапів стає своєрідною перемогою для колективу, посилює мотивацію, надає сил на шляху до досягнення кінцевої мети і дає уявлення про проміжні результати. Є етапи, загальні для усіх організацій, але, залежно від кожного конкретного випадку, під час упровадження BIM-технологій виникають і деякі специфічні питання. Для кращого оцінювання проміжних результатів корисно виконувати пілотні проєкти в рамках упровадження BIM-технологій.

Існують різні підходи до розроблення концепції BIM. Усі вони тією чи іншою мірою застосовні в контексті BIM-

технологій. Проте в такій галузі як будівництво об'єктів інфраструктури (як і в будь-якій іншій) існують свої особливості залежно від масштабу проєктів (локального, галузевого або національного). Тому керівництво повинне враховувати всі особливості компанії під час впровадження BIM-технологій, щоб визначити вплив нових технологій на кожен аспект її діяльності.

Краще за все, якщо концепція BIM розробляється на рівні вищого керівництва, проте на практиці ми часто стикаємося з тим, що цим займаються менеджери середньої ланки, яким доводиться витратити зусилля, щоб звернути увагу вищого керівництва до проблем упровадження BIM-технологій. В цьому випадку менеджерам середнього рівня необхідно представити своє бачення концепції при взаємодії з керівництвом. Цей крок стає перехідною стадією, коли ініціатива впровадження BIM-технологій починає переходити до керівництва компанії.

Незважаючи на те, що це не кращий варіант розвитку подій, деякі компанії досягають непоганих результатів, йдучи по цьому шляху. Проте не варто забувати, що при такому підході втрачаються деякі істотні переваги BIM-технологій і ставиться під загрозу успіх впровадження нових технологій в цілому [4].

Команда BIM. Існує безліч досліджень, присвячених темі впровадження нових технологій у великих організаціях в різних сферах діяльності, і всі вони свідчать про складність подібних нововведень. Для таких масштабних змін, як впровадження BIM-технологій, необхідно пропрацювати чітку концепцію і втілювати її в життя шляхом поступових змін упродовж тривалого часу. При цьому необхідно постійно стежити за тим, щоб конкретні зміни відповідали затвердженій концепції BIM.

Завдання команди, що займається впровадженням BIM-технологій, – розробити конкретні кроки до проведення змін. Кожен з етапів змін повинен мати чітку мету, яка відповідає загальній стратегії розвитку компанії [6].

Проведення значних змін у будь-якій організації – тривалий і складний процес. Він вимагає творчого підходу і повинен урахувати усі особливості діяльності компанії. В той же час, проблеми, що виникають під час проведення змін, у більшості компаній типові. Відмітимо деякі загальні моменти, на яких треба заострити увагу для успішного подолання труднощів у впровадженні BIM-технологій.

Взаємодія керівників з підлеглими. Загальна концепція BIM визначає основну мету, але також дуже важливо розробити конкретні кроки до її досягнення. Як зазначалося раніше, основна рушійна сила змін – рядові виконавці. І якщо кожен із них не відчуватиме важливості свого конкретного вкладу в досягнення спільної мети, цієї мети можна ніколи не досягти. Дуже важливо, щоб упровадження нових технологій відбувалося в тісній взаємодії керівництва з підлеглими. При цьому ініціатива повинна виходити від керівництва, але, незважаючи на важливість низхідного принципу взаємодії, не можна недооцінювати і висхідний принцип. Щоб добитися бажаних результатів, треба контролювати зміни, проводити пілотні проекти, навчання й атестацію співробітників.

Демонстрація успіхів. Разом із залученням до процесу впровадження BIM-технологій усіх співробітників у рамках однієї організації важливо ділитися своїми цілями і досягненнями в цій сфері з іншими компаніями галузі. Такого роду співпраця надає додаткового імпульсу розвитку, наочно ілюструє партнерам орієнтацію компанії на використання BIM-технологій і застосування їх на практиці.

Навчання. Перш ніж почати працювати в середовищі BIM, необхідно опанувати певні навички і методи роботи. Іноді доводиться розбиратися з принципово новими, не завжди зрозумілими ідеями. Тому потрібне додаткове навчання співробітників для успішного впровадження BIM-технологій в їх повсякденну діяльність. Крім того, систематичне навчання роботи з BIM-системами підвищує мотивацію

співробітників організації і стає інвестицією в інтелектуальний капітал організації.

Юридичний аспект упровадження. Використання BIM-технологій і пов'язаних з ними процесів викликає зміни контрактних зобов'язань між замовниками і підрядниками. Це відбувається тому, що міняється схема взаємодії між партнерами. Вона значно відрізняється від традиційної і може викликати деякі труднощі, хоча зрештою використання нової схеми може значно підвищити якість взаємодії.

Аналіз проміжних результатів. Аналіз проміжних результатів дозволяє давати прогнози ефективності BIM-технологій, стандартів і процесів у різних типах проєктів. У процесі аналізу команда BIM виявляє проблеми, вносить відповідні зміни в регламенти і стандарти і поширює досвід на діяльність усієї організації. Крім того, вивчення матеріалів аналізу допомагає демонструвати досягнення і, тим самим, мотивувати співробітників.

Під час роботи над інвестиційно-будівельними проєктами часто доводиться стикатися з проблемами незапланованого зростання витрат на реалізацію проєкту і зриву термінів реалізації проєкту. Найчастіше це відбувається через слабку координацію у рамках проєкту, неефективну спільну роботу усередині робочих груп і розбіжності між діями замовників і підрядників. Як показує статистика, частка невдалих інвестиційно-будівельних проєктів, які пройшли через перелічені вище труднощі, складає 60...75 %, при незапланованому збільшенні витрат на реалізацію проєкту на 30...50 % і при незапланованому збільшенні термінів будівництва до 100 % [5].

Поетапна зміна. Як зазначалося раніше, перехід на BIM-технології може дати вагомі переваги, проте для його здійснення потрібні значні зміни у сфері корпоративної культури, технологій і стандартів. Але змінити що-небудь у роботі сучасних будівельних компаній – непросте завдання. Щоб добитися цих змін, знадобиться реорганізація управління і робочих процесів, перехід на нові

технології. Крім того, треба стежити, щоб зміни повністю відповідали загальній концепції BIM. У разі змін у масштабі всієї організації з'являється безліч нових робочих процесів і стандартів; перед упровадженням їх треба ретельно спланувати і перевірити їх ефективність. Для кращого розуміння ми розбили ці зміни на групи. Кожна з груп змін впливає на конкретну сферу діяльності компанії.

Стратегія розвитку. У процесі впровадження BIM-технологій зміни повинні відповідати основним цілям компанії: конкурентоздатне позиціонування на ринку і виробнича ефективність.

Управління змінами. Програма впровадження BIM-технологій розроблена для досягнення запланованих переваг від переходу на нові технології в цілому. Щоб добитися конкретних результатів, необхідно контролювати процес змін, обмін інформацією, навчання співробітників і якість робіт.

Регламенти і стандарти. Для ефективної спільної роботи фахівців різних напрямів потрібні чітко прописані регламенти і стандарти (яких в Україні поки що немає), що визначають розвиток усіх програм і проєктів, в яких використовується BIM-технології.

Подальша інтеграція BIM-технологій. Інструменти управління BIM-процесами і робота з моделями повинні інтегруватися з існуючими корпоративними інформаційними системами і утворювати єдиний інформаційний простір підприємства.

Реально працюючі моделі ми отримуємо за допомогою технологій АТБМ (автоматизовані технології будівельного моделювання) та називаємо їх «Комплексними інформаційними моделями – КІМ», які повинні стати основою автоматизованих технологій управління будівельними підприємствами [9].

Єдина комплексна інформаційна модель являє собою узгоджений банк даних графічної і описової інформації, базу даних проєкту, загальну для всіх частин і етапів проєкту. Інформація для комплексної інформаційної моделі може бути отримана з

BIM-моделі за потребою. На основі комплексної інформаційної моделі об'єкта формується єдина стратегія управління проєктуванням, виробництвом і процесом реалізації будівельного об'єкта, забезпечується підтримка розподілених груп: ресурси і завдання можуть ефективно і спільно використовувати цю інформацію, що виключає надмірність, повторне введення і втрату даних, помилки під час їх передачі та перетворення.

Комплексна інформаційна модель у цьому випадку дозволяє здійснювати ефективне керування, облік витрачених ресурсів і здійснених платежів, якісно і своєчасно проводити поточні, капітальні та аварійні ремонтні роботи у процесі експлуатації об'єкта, вносити необхідні корективи в конфігурацію об'єкта і реалізовувати багато інших функцій, що необхідно для забезпечення оптимального використання будівлі.

При цьому дуже важливим моментом стає універсалізація форматів обміну даними між програмними комплексами різного призначення. Стандартні системи САД дозволяють створення тривимірних моделей, які називають 3D-моделями. Система BIM виходить за ці межі, даючи можливості для моделювання, що визначається як 4D, 5D, 6D та навіть 7D.

Інтеграція багатьох площин проєктування дозволяє аналізувати взаємозв'язки, які донедавна здавалися за межами проєктування. Навіть у разі найнижчого рівня BIM-моделей, 3D актуальні апікації мають набагато більші можливості, ніж стандартні системи САД, обмежені найчастіше визначенням геометрії і матеріалу елементів, що проєктуються.

Враховуючи вищезазначене, КІМ можна описати як спосіб:

- розроблення стратегії реалізації будівельного проєкту, а саме ключових його етапів: проєктування, будівництва, експлуатації за допомогою моделювання та комп'ютерної імітації самого об'єкта та його цілого життєвого циклу;

- забезпечення інтегрованого управління графічними даними і потоками інформації в

поєднанні з описом процесу, у межах єдиного інформаційного середовища;

- перетворення окремих виконавців на колективи для вирішення складних питань й інтеграції окремих завдань у процеси управління;

- швидшого, більш ефективного, менш витратного виконання операцій протягом усього життєвого циклу будівельного проєкту.

Висновки. КІМ- і ВІМ-технології – майбутнє будівництва, можливість досягнути майже повної відповідності характеристик майбутнього об'єкта вимогам ринку. Це сприятиме вдосконаленню українського будівництва у таких стратегічних рішеннях:

- дозволить вивести будівельну галузь на новий рівень;

- підвищить якість контролю будівельних робіт;

- сприятиме реалізації сучасних складних проєктів.

Для виконання цього завдання запропоновано використання інформаційного моделювання будівлі, результатом чого стане оптимізація використання обмежених виробничих ресурсів. Реалізація комплексних інформаційних моделей на практиці дає можливість виявити резерви для вивільнення ресурсів та напрямки їх використання, що сприятиме підвищенню рівня прибутковості виробництва за умови ефективного використання його ресурсного потенціалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chashyn D., Dikarev K. La probleme de l'adaptation des modèles CIM aux conditions de la construction. *Construction. Material Science. Mechanical Engineering*. 2018. Pp. 156–165.
2. Чашин Д. Ю., Дикарев К. Б. Развитие систем SAPR–ASUB на основе комплексных информационных моделей. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудівництво*. 2018. С. 212–217.
3. ВІМ-технології для сучасного архітектора [Електронний ресурс]. URL: <https://www.bakotech-architects.com/uk/event/vim-tehnologii-dljasuchasnogo-arhitektora-baku/>
4. Chashyn D. Les directions de l'adaptation des modèles CIM aux conditions de la reconstruction des bâtiments. *Інформаційне суспільство : технологічні, економічні та технічні аспекти становлення*. 2017. № 18.
5. Новітні ВІМ-технології у будівництві: навіщо вони потрібні в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://legalhub.online/budivnytstvo/novitni-vim-tehnologiyi-u-budivnytstvi-navishho-vony-potribni-ukrayini/>
6. Чашин Д. Ю. Основы развития современных систем САПР–АСУБ. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве*. 2013. С. 230–237.
7. Оптимізація тривалості робіт житлового будівництва [Електронний ресурс]. URL: <http://www.disslib.org/optymizatsia-tryvalosti-robit-zhytlovohobudivnytstva.html>
8. Впровадження ВІМ-технологій підвищить якість проєктування [Електронний ресурс]. URL: <https://100realty.ua/uk/news/vprovadzennavim-tehnologii-pidvisit-akist-proektuvanna>
9. Барабаш М., Київська К. Використання методів інтеграції для створення узагальненої інформаційної моделі будівельного об'єкта. *Управління розвитком складних систем*. 2016. № 25. С. 114–120.

REFERENCES

1. Chashyn D. and Dikarev K. *Problema adaptatsii modelei CIM do umov budivnytstva* [The problem of adapting CIM models to construction conditions]. *Stroytel'stvo. Materyalovedenye. Mashynostroenye* [Construction. Material Science. Mechanical Engineering]. 2018, pp. 156–165. (in French).
2. Chashyn D.Yu. and Dikarev K.B. *Rozvytok system SAPR–ASUB na osnovi kompleksnykh informatsiynykh modelei* [Development of CAD systems – systems on the basis of integrated information models]. [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2018, pp. 212–217. (in Ukrainian).
3. BIM-technologies for the modern architect [Electronic resource]. URL: <https://www.bakotech-architects.com/uk/event/vim-tehnologii-dljasuchasnogo-arhitektora-baku/>
4. Chashyn D. *Napriamky adaptatsii modelei CIM do umov rekonstruktsii budivli* [Directions of adaptation of CIM models to conditions of reconstruction of buildings]. *Informatsiyne suspil'stvo : tekhnologichni, ekonomichni ta tekhnichni aspekty stanovlennya* [Information society: technological, economic and technical aspects of formation]. 2017, no. 18. (in French).

5. *Novitni BIM-tekhnologii u budivnytstvi: navishcho vony potrebni v Ukraini* [The latest BIM technologies in construction: why are they needed in Ukraine] [Electronic resource]. URL: <https://legalhub.online/budivnytstvo/> (in Ukrainian).
6. Chashyn D.Yu. *Osnovy rozvytku suchasnykh system SAPR–ASUB* [Fundamentals of development of modern CAD-ASUB systems]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye. Seriya: Energetika, ekologiya, komp'yuternyye tekhnologii v stroitel'stve* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering. Series: Energy, Ecology, Computer Technology in Construction]. 2013, pp. 230–237. (in Ukrainian).
7. *Optymizatsiia tryvalosti robit zhytlovoho budivnytstva* [Optimization of the duration of housing construction works] [Electronic resource]. URL: <http://www.disslib.org/optymizatsia-tryvalosti-robit-zhytlovohobudivnytstva.html> (in Ukrainian).
8. *Vprovadzhennia BIM-tekhnologii pidvyshchyt yakist proektuvannia* [The introduction of BIM-technologies will improve the quality of design] [Electronic resource]. URL: <https://100realty.ua/uk/news/vprovadzennavim-tehnologii-pidvisit-akist-proektuvanna> (in Ukrainian).
9. Barabash M. and Kyivska K. *Vykorystannia metodiv intehtatsii dlia stvorennia uzahalненоi informatsiinoi modeli budivelnoho obiekta* [The use of integration methods to create a generalized information model of a building object]. *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system* [Management of complex systems development]. 2016, no. 25, pp. 114–120. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.12.2021.

УДК 69.003

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.71.835

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТРАНШЕЙ У СКЛАДНИХ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ НА ОСНОВІ ТЕХНІЧНИХ ІННОВАЦІЙ¹

ШАТОВ С. В.^{1*}, докт. техн. наук, доц.,
МАЦЕНКО О. М.², канд. екон. наук, доц.,
СКРИПКА Є. О.³, студ.,
БІЛЬГОВСЬКИЙ Д. В.⁴, студ.

^{1*} Кафедра будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Кафедра економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел. +38 (066) 921-55-91, e-mail: matsenko@biem.sumdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-1806-2811

³ Навчально-науковий інститут бізнесу, економіки та менеджменту, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел. +38 (099) 754-90-59, e-mail: skrypka.sumy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0499-4597

⁴ Факультет інформаційних технологій та механічної інженерії, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (099) 145-82-00, e-mail: bilgovskiydanil@icloud.com, ORCID ID: 0000-0002-6123-8720

Анотація. Постановка проблеми. Виробництво траншей – досить енергоємний та витратний процес. Крім того, підготовка траншей в зимовий період забирає чимало часу. Актуальність статті зумовлена тим, що траншеї, необхідні у багатьох галузях (будівництво, сільське господарство, водне господарство, військова справа), доводиться виконувати і в зимовий період, що значно підвищує вартість та час їх виробництва. У військовій справі мова йде не лише про економічну ефективність, а й про безпеку особового складу, що особливо актуально у разі загрози повномасштабних бойових дій. Тому удосконалення машин і обладнання для ефективної розробки мерзлих та міцних ґрунтів для викопування траншей стало актуальним науково-технічним завданням сьогодення. **Мета статті** – обґрунтувати підвищення економічної ефективності виробництва траншей у складних природно-кліматичних умовах на основі технічних інновацій. **Результати.** Взимку ґрунти мають значно вищі показники механічних властивостей, у першу чергу з міцності, у порівнянні з іншими періодами року. Це спричинює підвищення енергоємності та вартості розробки ґрунтів землерийною технікою. У більшості випадків ці машини не здатні виконувати розробку мерзлих ґрунтів. Тому перед їх використанням виконують підготовчі роботи з розпушення. Використання лише екскаваторної техніки у зимовий період економічно недоцільне. Саме тому запропоновано для розробки мерзлого ґрунту удосконалений розпушник із двома зубцями під нахилом. Це обладнання порівняно з традиційним, по-перше, забезпечує зменшення у 2,8...3,0 рази об'єму непродуктивно розпушеного ґрунту, а по-друге, залежно від класу, підвищує продуктивність у 1,8...9,5 рази. **Наукова новизна і практична значимість.** Уперше здійснено економічне обґрунтування доцільності використання розпушника із зубцями з нахилом для розроблення мерзлих та міцних ґрунтів, що забезпечує зниження витрат на виконання траншеї як мінімум удвічі, при цьому значно зростає швидкість виконання робіт, що вкрай актуальне для збереження особового складу у воєнних умовах. Для більш наочної демонстрації ефективності роботи розпушників запроваджено коефіцієнти ефективності роботи обладнання, що показали економічну доцільність роботи такого розпушника.

Ключові слова: економічна ефективність; продуктивність; будівництво; траншея; розпушник; ґрунт

INCREASING THE EFFICIENCY OF TRENCH PRODUCTION IN DIFFICULT NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS BASED ON TECHNICAL INNOVATIONS¹

SHATOV S.V.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
MATSENKO O.M.², Cand. Sc. (Economic), Assoc. Prof.,

¹ Публікація підготовлена в рамках виконання наукового проекту «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень» (№ держреєстрації 0121U109557), що фінансується з Державного бюджету України.

SKRYPKA Yev.O.³, *Stud.*,
BILHOVSKYI D.V.⁴, *Stud.*

^{1*} Department of Construction and Road Machinery, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Department of Economics, Entrepreneurship and Business Administration, Sumy State University, 2, Rymskoho-Korsakova St., 40007, Sumy, Ukraine, tel. +38 (066) 921-55-91, e-mail: matsenko@biem.sumdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-1806-2811

³ Academic and Research Institute of Business, Economics and Management, Sumy State University, 2, Rymskoho-Korsakova St., 40007, Sumy, Ukraine, tel. +38 (099) 754-90-59, e-mail: skrypka.sumy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0499-4597

⁴ Faculty of Information Technologies and Mechanical Engineering, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (099) 145-82-00, e-mail: bilgovskiydanil@icloud.com, ORCID ID: 0000-0002-6123-8720

Abstract. Problem statement. Trench production is a very energy-intensive and costly process. In addition, the preparation of trenches in the winter takes a long time. The article's relevance is because the trenches needed in many industries (construction, agriculture, water management, military affairs) have to be performed in the winter, which significantly increases the cost and time of their production. In military affairs, it is about economic efficiency and the safety of personnel, which is especially important in the event of a threat of full-scale hostilities. Therefore, improving machinery and equipment for the effective development of frozen and firm soils in the execution of trenches is an urgent scientific and technical task today. **The purpose of the article** is to substantiate the increase of economic efficiency of trench production in difficult natural and climatic conditions based on technical innovations. **Results.** In winter, soils have much higher mechanical properties, primarily in terms of strength, than other year periods. This leads to an increase in energy intensity and the cost of soil development by earthmoving equipment. In most cases, these machines are not able to develop frozen soils. Therefore, before using them, they perform preparatory work on loosening frozen soils. From the calculations given in the article, we can conclude that using only excavator equipment in the winter is economically impractical. That is why it was proposed to introduce an advanced cultivator with two teeth at an angle to develop frozen soil. Compared with traditional equipment, this type of equipment reduces 2,8–3,0 times unproductively loose soil, and secondly, depending on the class, increases productivity by 1,8–9,5 times. **Scientific novelty and practical significance.** For the first time, the feasibility of using a tusk with sloping teeth to develop frozen and strong soils reduces the cost of trenching at least 2 times while significantly increasing the speed of work, which is extremely important for maintaining personnel in military conditions. To demonstrate the efficiency of cultivators more clearly, efficiency coefficients of equipment were introduced, which showed the economic feasibility of introducing a cultivator with two teeth at an angle to the development of frozen soils in comparison, both for military and civilian purposes.

Keywords: *economic efficiency; productivity; construction; trench; loosener; soil*

Постановка проблеми. Один із видів земляних робіт – виробництво траншей під різноманітні інженерні споруди та технологічні комунікації, наприклад, для фундаментів та підпірних стінок. До технологічних комунікацій, які потребують виконання траншей у ґрунті, належать енергомережі, газопроводи, мережі зв'язку, водопроводи та мережі водовідведення.

У військовій справі траншеї вкрай актуальні для укриття особового складу та розташування техніки. Ці види земляних робіт можуть виконуватися у різні пори року. Взимку ґрунти мають значно вищі показники механічних властивостей, у першу чергу з міцності. Це зумовлює підвищення енергоємності та вартості розробки ґрунтів землерийною технікою: однокішчевими екскаваторами, траншеєкопачами, скреперами, бульдозерами. У більшості випадків ці машини не здатні

розробляти мерзлі ґрунти. Тому перед їх використанням виконують підготовчі роботи з розпушення.

Існує значна кількість способів та відповідних засобів механізації для розробки мерзлих та міцних ґрунтів. Найбільш перспективний – використання розпушників статичної дії, які встановлюються на гусеничних тракторах. Вони розробляють мерзлі та міцні ґрунти шарово, розпушники по площині із зайвим обсягом розпушеного ґрунту, що збільшує енерговитрати на цих роботах.

Тому удосконалення машин і обладнання для ефективної розробки мерзлих та міцних ґрунтів під час копання траншей постає актуальним науково-технічним завданням сьогодення.

Мета статті – обґрунтувати підвищення економічної ефективності виробництва

траншей у складних природно-кліматичних умовах на основі технічних інновацій.

Результати дослідження. У будівництві важливу роль відіграє один із початкових етапів – проведення земляних робіт, які постають першоосновою будівельного процесу. Саме тоді прокладаються основні комунікації будівлі – водопровідні та газопровідні мережі, телефонні та інші телекомунікаційні кабелі. Від якості земляних робіт залежить також закладання основи будівлі – її фундаменту, що зводиться в котлованах чи виконаних траншеях.

Виконання траншей – надзвичайно відповідальна справа, що вимагає уважної підготовки. Від оцінювання фронту робіт і розуміння необхідного результату залежить рішення, яку техніку необхідно використовувати у подальшому.

Залежно від мети та призначення можна виділити такі різновиди траншей для:

- прокладання водопроводу;
- прокладання газопроводу;
- облаштування каналізації;
- протягування електричних та телефонних кабелів;
- укладання заземлення;
- облаштування водовідведення;
- будівельного фундаменту [1].

Отож, виконання траншей – це невід’ємна складова будь-якого будівельного процесу, адже майже всі комунікації майбутньої будівлі прокладаються саме в землі. Однак будівельна галузь не єдина, де застосовуються траншеї. Сільське господарство також активно використовує їх для зрошування полів та побудови дренажних систем.

За часи незалежності України та розвитку технологій в сільському господарстві прокладання дрена на полях майже зупинилось [2]. Проте техніка, що виконувала ці роботи на полях, донині працює на приватних господарських ділянках, у кар’єрах та на об’єктах будівництва, де допомагає осушувати та відводити воду з болотистої та низовинної місцевості.

В окремих випадках та в екстремальних ситуаціях обмеженого часу таку техніку

долучають до копання траншей на фронті. Здебільшого військові залучають інженерні машини, багатокішкелі та однокішкелі екскаватори, роторно-металеві машини та малогабаритне обладнання. Ці машини спеціально пристосовані для риття траншей з необхідними заданими параметрами та швидко допомагають військовим спорудити захисні об’єкти.

Залежно від проектних вимог, траншеї мають різний переріз за формою та розмірами (рис. 1 а). Як правило, ґрунт, вилучений з траншеї, укладається поруч з нею з одного або обох боків для зворотного засипання після укладання інженерних комунікацій (рис. 1 б). Відстань відсипки ґрунту зумовлюється конструктивними особливостями землерийних машин та їх параметрами [3–5].

Траншеї викопують за двома типами: нормального та повного профілю. Рови нормального профілю мають глибину 1,10 м, а повного – 1,5 м. Вибір типу траншеї залежить від часу на її виконання. Звичайно спочатку викопують рів глибиною 1,1 м, а потім його поглиблюють до 1,5 м.

Ширина траншеї зверху складає від 0,9 м до 1,2 м та залежить від властивостей ґрунту: для більш міцного ширина наближається до 0,9 м, а для сипких ґрунтів – 1,2 м. Зверху рів звужують аби зменшити ймовірність влучення в нього снарядів та мін.

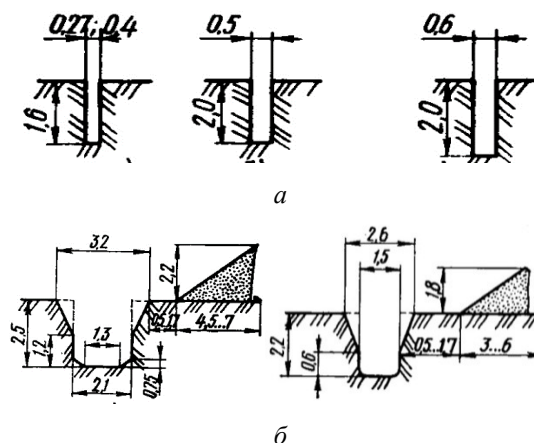


Рис. 1. Схеми траншей при будівельних роботах

Для механізованої розробки траншей використовують багатокішкелі та однокішкелі екскаватори, роторно-металеві машини, малогабаритне обладнання [6; 7].

Багатокішшеві екскаватори (рис. 2 а, б) та роторно-метальні машини (рис. 2 в, г) встановлюють на гусеничних та колісних машинах сільськогосподарського і спеціального призначення. Вони дуже продуктивні та забезпечують високу якість траншей, але енергоємні. Їх доцільно використовувати у разі значних обсягів робіт. Роторно-метальні машини використовують для риття траншей великого перерізу.

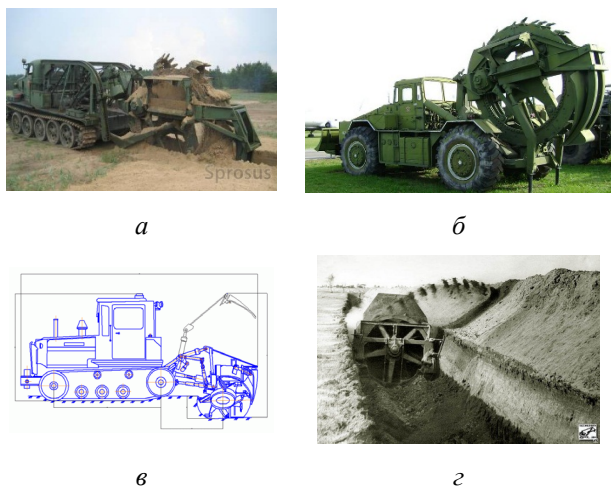


Рис. 2. Машини для виконання траншей

До недоліків машин безперервної дії слід віднести: значну масу, складність систем приводу (трансмисії) робочого органа та її низьку експлуатаційну надійність, зниження продуктивності під час розробки вологих ґрунтів, необхідність у додатковій техніці з причіпною платформою для транспортування екскаваторів.

Однокішшеві екскаватори (рис. 3) більш універсальні машини, ніж техніка безперервної дії, й можуть використовуватися для викопування траншей як значної протяжності, так і невеликі [8]. Ці машини також дозволяють робити інженере облаштування траншей – спеціальні місця для спостереження за противником та ведення бойових дій. Однокішшеві екскаватори маневрені і це дозволяє ефективно копати рови з ділянками (фасом) під різними кутами (рис. 3 а).

Колісні однокішшеві екскаватори (рис. 3 в) самостійно переїжджають на інше місце, не потребуючи додаткової транспортної техніки. Ці землерийні машини можуть використовувати різноманітні види змінного робочого

обладнання, що забезпечує виконання інших видів робіт: вантажопідйомних, планувальних тощо.



Рис. 3. Однокішшеві екскаватори на базі ходового обладнання

Недолік розглянутих машин та обладнання для виконання траншей – це низька ефективність або неможливість їх використання взимку та для розробки міцних ґрунтів (граніти, вапняки). У зимовий період міцність ґрунтів збільшується у 30–40 разів, зростає у 4–5 разів абразивний знос робочих органів. Глибина промерзання ґрунтів складає 0,5...0,9 метра, тому перед використанням землерийної техніки потрібно виконувати підготовчі роботи з розпушення мерзлих та міцних ґрунтів.

Існує багато способів та відповідних засобів механізації для розробки мерзлих та міцних ґрунтів [5; 6]. Найбільш перспективний – використання розпушників статичної дії (рис. 4), які встановлюються на гусеничних тракторах – це навісне обладнання до бульдозерів або навантажувачів [7; 9; 10].

Найчастіше розпушники встановлюють у задній частині тракторів, оснащених бульдозерним обладнанням. Така компоновка вирівнює тиск гусениць бульдозерно-розпушувального агрегата на опорну поверхню, що поліпшує його тягові характеристики та дозволяє обійтися однією машиною для поєднання бульдозерних і розпушувальних робіт на одному об'єкті. Розпушники мають нескладне та надійне обладнання, невисоку вартість, достатню продуктивність (70...200 м³/год) та якість роботи.

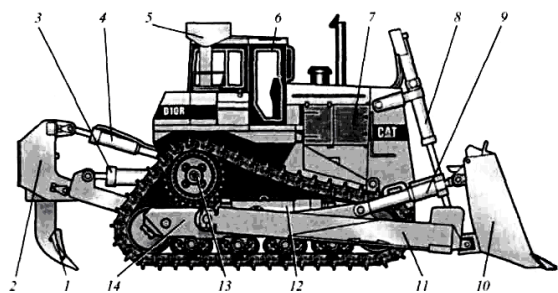


Рис. 4. Розпушник на базі гусеничного бульдозера:

- 1 – зуб із наконечником; 2 – робоча балка;
3 – гідроциліндр підйому/опускання розпушника;
4 – гідроциліндр нахилу зуба; 5 – захист кабіни;
6 – кабіна; 7 – двигун; 8 – гідроциліндр підйому/опускання відвала; 9 – гідравлічний підкіс;
10 – бульдозерний відвал; 11 – штовхальний брус;
12 – гідроциліндр натягнення гусениці;
13 – провідне колесо; 14 – рама

Для розроблення мерзлих та міцних ґрунтів залежно від їх стану (міцність, тип ґрунтів тощо) використовують бульдозери-розпушники визначеного тягового класу у межах 10...35 т (рис. 5). Залежно від технологічних вимог розпушення ґрунтів виконують: на максимальну глибину за один прохід розпушника з одним зубом (рис. 5 а, б); на найбільшу ширину розпушення розпушниками з декількома зубцями (рис. 5 в, г). Зубців може бути два, три, п'ять.

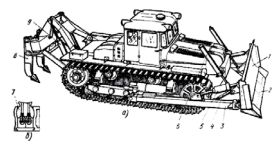


Рис. 5. Типи розпушників

Окрім зниження міцності ґрунту розпушники доцільно використовувати з економічної точки зору, адже мерзлий стан ґрунту ускладнює технологію виконання траншей, обмежує застосування деяких типів землерийних (екскаваторів) та землерийно-транспортних машин (бульдозерів, скреперів, грейдерів), зменшує продуктивність транспортних засобів, спричинює швидке зношування деталей машин, особливо їх робочих органів.

За збільшення трудомісткості розробки ґрунту також значно збільшуються фінансові витрати на виконання траншей. Наприклад, якщо взяти екскаваторну машину JCB з об'ємом ковша в $0,18 \text{ м}^3$ у зимовий період порівняно з літнім, розробка замерзлого ґрунту уповільниться майже удвічі та негативно відобразиться на кількості виробленого об'єму ґрунту з траншей.

Проте орендна плата за екскаватор буде незмінною та становитиме близько 700 грн/год. [11].

Отже, можемо порахувати вартість та ефективність роботи екскаваторної машини в літній та зимовий час відповідно до фінансових витрат на одиницю часу (табл. 1).

Таблиця 1

Ефективність роботи екскаваторної машини в літній та зимовий час відповідно до фінансових витрат на одиницю часу

Характеристика	Літній період	Зимовий період
Погодинна орендна плата оренди екскаватора JCB, грн/год	700	700
Об'єм ковша, м^3	0,18	0,18
Щільність ґрунту (рослинний ґрунт, що переважає в Донецькій області), $\text{кг}/\text{м}^3$	1 300	$1\,300 \cdot 35 = 45\,500$
Середній час виконання одного робочого циклу екскаватором (від початку набирання ґрунту в ківш до вивантаження ґрунту на бруствері та повернення ковша до вихідної точки) за умови, що екскаватор переміщається вздовж траншеї з однаковою швидкістю як у літній, так і в зимовий період, с	17	37
Кількість робочих циклів, що здійснює екскаватор за годину	$3\,600/17 = 211$	$3\,600/37 = 97$
Об'єм ґрунту, який може виконати одна екскаваторна машина, $\text{м}^3/\text{год}$	$211 \cdot 0,18 = 37,98$	$97 \cdot 0,18 = 17,46$

Із розрахунків, наведених в таблиці 1, видно, що об'єм виробленого ґрунту екскаваторною машиною за одиницю часу в літній період ($37,98 \text{ м}^3$) більше ніж удвічі перевищує об'єм виробленого ґрунту у зимовий ($17,46 \text{ м}^3$). Виходячи з цього, можна оцінити вартість вироблення 1 м^3 ґрунту в літній та зимовий періоди.

Як критерій ефективності роботи екскаваторної техніки пропонуємо використовувати вартість вироблення 1 м^3 ґрунту:

$$T_1 = \frac{Z}{V}, \quad (1)$$

де: T_1 – тариф роботи екскаваторної машини, грн/м³; Z – вартість виконання робіт екскаваторною машиною, грн/год; V – об'єм вийнятого ґрунту з траншеї за 1 годину роботи екскаваторної машини, м³/год.

Так, улітку вартість виконання 1м³ ґрунту буде становити $700/37,98 = 18,43$ грн/м³. В той же час вартість таких же робіт у зимовий період робіт становитиме $700/17,46 = 40,09$ грн/м³. Отже, вартість земельних робіт взимку значно збільшується.

Для більш глибокого аналізу можна розрахувати коефіцієнт ефективності роботи екскаваторної машини, що дасть змогу об'єктивно порівняти підходи до виконання траншей у зимовий період. Даний коефіцієнт доцільно розрахувати за формулою:

$$E = \frac{V}{Z}, \quad (2)$$

де: E – коефіцієнт ефективності роботи екскаваторної машини, м³/грн; V – об'єм вийнятого ґрунту з траншеї за 1 годину роботи екскаваторної машини, м³/год; Z – вартість виконання робіт екскаваторною машиною, грн/год.

У зимовий період коефіцієнт ефективності роботи екскаваторної машини складе:

$$E = 17,46/700 = 0,025 \text{ м}^3/\text{грн}.$$

Отже, ефективність виконання земляних робіт екскаватором у зимовий період буде становити 0,025 м³ на 1 грн витрат.

Економічні розрахунки вартості виконання траншей у мерзлому ґрунті показують, що використання однієї екскаваторної техніки в умовах розробки мерзлих ґрунтів економічно недоцільне. Однак воєнні дії на сході України змушують військових копати траншеї для особового складу в будь-яку пору року за будь-якої погоди та за будь-яких економічних витрат. Тому, для підвищення швидкості виконання робіт та для оптимізації фінансових витрат на виконання траншей доцільно впровадити додаткову техніку у вигляді розпушників, які в змозі перетворити мерзлий тип ґрунту

на розпушений та такий, з яким екскаваторна техніка зможе впоратись без зайвого зносу основних робочих деталей екскаватора та втрати дорогоцінного часу.

Так, для розрахунку економічної доцільності впровадження розпушувача треба визначити додатковий ефект впливу розпушеного ґрунту на роботу екскаваторної машини. Для початку необхідно встановити середню продуктивність роботи розпушувача за 1 годину. Як відомо, розпушники, залежно від потужності та кількості зубів, можуть значно підвищити свою продуктивність.

Для прикладу візьмемо трактор Т-170 та встановлений на його базі розпушник на два зуби, розташовані вертикально, що мають продуктивність роботи в середньому 20 м³/год та глибину розпушення, близьку до глибини промерзання ґрунту, а саме 500 мм. Також відомо, що середня вартість оренди трактора в середньому по Україні становить 700 грн/год [11].

З отриманих даних цілком можна обчислити вартість виконання траншеї для особового складу протяжністю 1 000 м глибиною 1,1 м та шириною 1 м. Об'єм виробки ґрунту з траншеї для екскаваторної техніки в цілому буде становити $1\ 000 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1\ 100 \text{ м}^3$, а для розпушника складе $1\ 000 \cdot 1/2 \cdot 1,1 \cdot 1 = 550 \text{ м}^3$ (де 1/2 м – глибина промерзання ґрунту). Тоді, за використання розпушника, загальна кількість часу на виконання траншеї з указаними параметрами складатиме:

$$550 \text{ м}^3 / 20 \text{ м}^3/\text{год} \approx 27,5 \text{ год}.$$

Вартість робіт із розпушення ґрунту для воєнної траншеї з вищевказаними параметрами буде становити:

$$700 \text{ грн} \cdot 27,5 \text{ год} = 19\ 250,00 \text{ грн}.$$

У разі подрібнення мерзлого ґрунту розпушником з'являється додатковий об'єм за рахунок утворення пустот між замерзлим грудками. Цей об'єм доцільно обчислювати за допомогою коефіцієнта розпушування ґрунту за нормативами ДБН. За державними будівельними нормами коефіцієнт із розпушення мерзлих чорноземів складає 1,25 (для Донецької області). Отже, визначення об'єму розпушеного ґрунту, який необхідно

додатково виробити екскаваторною машиною, становитиме:

$$550 \text{ м}^3 \cdot 1,25 = 687,5 \text{ м}^3.$$

У такому випадку вартість виконання траншеї екскаватором за умови розпушення ґрунту становитиме:

$$(687,5 \text{ м}^3 + 550 \text{ м}^3) \cdot 18,43 \text{ грн/м}^3 = 12\,670,63 + 10\,136,50 = 22\,807,13 \text{ грн.}$$

Отже, залучення екскаватора та розпушника обійдеться в $19\,250 + 22\,807,13 = 42\,057,13$ грн, у той час як розробка траншеї лише екскаватором буде коштувати $1\,100 \text{ м}^3 \cdot 40,09 \text{ грн/м}^3 = 44\,099$ грн.

Економічну доцільність залучення розпушувача до розробки мерзлих ґрунтів для копання траншей можемо розрахувати за формулою:

$$T_2 = \frac{Z + Z_1}{V}, \quad (3)$$

де T_2 – тариф спільної роботи екскаваторної машини та розпушувача, грн/м³; Z_1 – вартість виконання робіт розпушувачем, грн.

Тоді:

$$T_2 = \frac{19\,250 + 22\,807,13}{687,5 + 550} = 33,99 \text{ грн/м}^3$$

Отже, ефективність виконання земляних робіт екскаватором та розпушувачем у зимовий період буде вищою на $40,09 - 33,99 = 6,10$ грн/м³ без урахування затримки на початок виконання робіт розпушувачем.

Для збільшення продуктивності роботи розпушника, а також для підвищення економічного ефекту від застосування такої техніки для розробки мерзлих ґрунтів запропоновано впровадження удосконаленої конструкції, а саме експлуатація розпушника із зубцями під нахилом (рис. 6). Така конструкція дозволяє підвищити продуктивність до 9 разів залежно від умов навколишнього середовища.

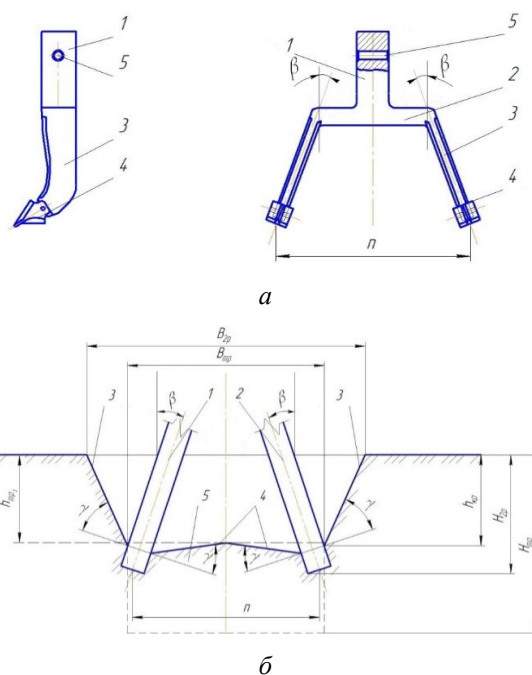


Рис. 6. Розробка ґрунтів розпушником із зубцями з нахилом: а – робочий орган: 1 – стійка; 2 – консоль; 3 – зубці; 4 – наконечник; 5 – отвір кріплення; б – схема розробки ґрунтів: 1, 2 – зубці; 3 – бокові поверхні прорізи; 4 – внутрішні поверхні прорізи; 5 – нерозпушена зона

Результати дослідження показали, що площа середньої частини розпушування становить 0,038 м², однак у разі, коли ми застосовуємо розпушник із двома зубцями під нахилом, ця площа зростає до 0,36 м². Якщо дані показники перевести у продуктивність роботи розпушника за годину, можна побачити, що удосконалений розпушник із зубцями під нахилом має більшу продуктивність (в 9,5 разів) порівняно з базовим за рахунок нової конструкції робочого органа із зубцями з нахилом.

Розпушник із двома вертикально розташованими зубцями

Годинна продуктивність:

$$P_{\text{Бгод}} = F \cdot V \cdot k_{\text{в}} = 0,038 \times 370 \times 0,85 = 11,95 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розпушник із зубцями під нахилом

Годинна продуктивність:

$$P_{\text{Нгод}} = F \cdot V \cdot k_{\text{в}} = 0,39 \times 370 \times 0,85 = 113,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

де F – площа розпушеного ґрунту, м²; V – швидкість розпушувача, м/год; $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання розпушувача за часом.

Із цих даних доцільно порахувати економічний ефект залучення модернізованого розпушника до розробки мерзлих ґрунтів за допомогою наведеної методики розрахунку, а саме $113,2 \text{ м}^3/\text{год.}$ – продуктивність роботи модернізованого розпушника.

Нехай необхідно виконати воєнну траншею за зазначеними вище параметрами $1\,000 \times 1 \times 1,1 = 1\,100 \text{ м}^3$, а для розпушника – $1\,000 \times \frac{1}{2} \times 1,1 \times 1 = 550 \text{ м}^3$. Необхідний час для розпушення ґрунту під виконання траншеї:

$$550 \text{ м}^3 / 113,2 \text{ м}^3/\text{год} \approx 4,9 \text{ год.}$$

За таких умов вартість розпушення ґрунту буде становити:

$$700 \text{ грн} \times 4,9 \text{ год.} = 3\,430,00 \text{ грн.}$$

Отже, залучення екскаватора та модернізованого розпушника обійдеться в $3\,430,00 + 22\,807,13 = 26\,237,13 \text{ грн.}$ В такому випадку економічну доцільність залучення даної техніки можемо розрахувати за формулою (2):

$$T_3 = \frac{26\,237,13}{687,5 + 550} = 21,20 \text{ грн/м}^3$$

З наведених розрахунків можна зробити висновок, що використання лише екскаваторної техніки у зимовий період економічно недоцільне. Саме тому запропоновано застосування для розробки мерзлого ґрунту розпушника, який подрібнює верхній замерлий шар ґрунту та дозволяє екскаватору викопати траншею у зимовий період за розцінками літнього.

Запропоновано удосконалений розпушник із двома зубцями під нахилом. Цей вид обладнання, за розрахунками, показав значну економічну ефективність у розробці мерзлих ґрунтів порівняно з традиційним обладнанням, а саме, удосконалений розпушник дозволяє підвищити виробництво ґрунту у 9,5 раза.

У таблиці 2 наведено тарифи та коефіцієнти ефективності роботи трьох варіантів залученого обладнання.

Завдяки розрахованому коефіцієнту ефективності роботи обладнання вдалося наочно проілюструвати доцільність упровадження саме екскаваторної техніки з

модернізованим розпушником до розробки мерзлого ґрунту, як в умовах війни, так і для інших робіт.

Таблиця 2

Порівняння коефіцієнтів ефективності роботи різних варіантів залученого обладнання для розробки мерзлого ґрунту в зимовий період

Екскаватор	Екскаватор із розпушником	Екскаватор із модернізованим розпушником
$T_1 = 40,09 \text{ грн/м}^3$	$T_2 = 33,99 \text{ грн/м}^3$	$T_3 = 21,20 \text{ грн/м}^3$
$E_1 = 0,025 \text{ м}^3/\text{грн}$	$E_2 = 0,029 \text{ м}^3/\text{грн}$	$E_3 = 0,047 \text{ м}^3/\text{грн}$

Висновки. У будівництві та військовій справі існує необхідність у виконанні траншей під різноманітні інженерні споруди, технологічні комунікації, а також окопів для укриття особового складу та розташування техніки.

Виконання робіт узимку спричинює підвищення енергоємності та вартості розробки ґрунтів землерийною технікою. Існує значна кількість способів та відповідних засобів механізації для розробки мерзлих і міцних ґрунтів. Найбільш перспективним визнано використання розпушників статичної дії, які встановлюються на гусеничних тракторах. Традиційні розпушники для підготовчих робіт у копанні траншей розробляють ґрунт по площині із зайвим обсягом розпушеного ґрунту, що збільшує енерговитрати на цих роботах.

Запропоновано як обладнання розпушників використовувати робочий орган із зубцями з нахилом, що забезпечує:

- зменшення у 2,8...3,0 рази непродуктивно розпушеного ґрунту;
- залежно від їх класу підвищує продуктивність у 1,8...9,5 раза порівняно з розпушниками традиційної конструкції.

Також виконано економічний розрахунок доцільності використання розпушника статичної дії в зимових умовах. Установлено, що завдяки розпушенню ґрунту вартість виконання військової траншеї знижується на $6,10 \text{ грн/м}^3$.

Для досягнення більш вагомого економічного ефекту запропоновано залучення екскаватора з модернізованим розпушником статичної дії до розробки мерзлих ґрунтів. Установлено, що розпушник із зубцями з нахилом забезпечує

зниження витрат на виконання траншеї майже вдвічі.

Для більш наочної демонстрації ефективності роботи розпушників впроваджено коефіцієнти ефективності

роботи обладнання, що показали економічну доцільність застосування модернізованого розпушника статичної дії до розробки мерзлих ґрунтів, як в умовах війни, так і в мирному господарюванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Для чого потрібні траншеї [Текст з екрана]. URL: <http://www.luaz-auto.ru/news/dlya-chego-nuzhni-transhei.html> (дата звернення: 05.01.2022).
2. Восстановление плана дренажной системы по материалам съемки с БПЛА [Текст з екрана]. URL: <https://www.geoscan.aero.ru/blog/vosstanovlenie-plana-drenazhnoy-sistemy-po-materialam-semki-s-bpla> (дата звернення: 05.01.2022).
3. Гарбузов З. Е., Донской В. М. Экскаваторы непрерывного действия. Москва : Высшая школа, 1987. 288 с.
4. Производство земляных работ. Свод правил по сооружению магистральных газопроводов. СП 104-34-96. Москва : Минстрой РФ, 1996. 28 с.
5. Лівінський О. М. та ін. Технологія будівельного виробництва (Книга 1: загальні відомості про будівництво, роботи підготовчого періоду, земляні роботи та ін.) : навч. посіб. Київ : УАН, «МП Люся», 2012. 416 с.
6. Ветров Ю. А. и др. Машины для земляных работ. Київ : Вища школа, 1981. 384 с.
7. Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М. П. та ін. Машины для земляных работ : підручник. За заг. ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. Харків : ХНАДУ, 2014. 548 с.
8. Глазков А. А., Манakov Н. А., Панкратов А. В. Строительная, дорожная и специальная техника отечественного производства : краткий справочник. Москва : ЗАО «Бизнес-Арсенал», 2000. 816 с.
9. Захарчук Б. З. и др. Бульдозеры и рыхлители. Москва : Машиностроение, 1987. 240 с.
10. Техничко-експлуатационная характеристика машин фирмы «Caterpillar» : справочник. Иллинойс, США: Caterpillar Inc, 1999. 724 с.
11. Услуги погрузчика AMKADOR и экскаватора JCB в Сумах [Текст з екрана]. URL: <http://abb.sumy.ua/arenda-frontalnogo-pogruzchika.html> (дата звернення: 05.01.2022).

REFERENCES

1. *Dlia choho potribni transhei* [What do you need trenches for]. (Text from the screen). URL: <http://www.luaz-auto.ru/news/dlya-chego-nuzhni-transhei.html> (date of application : 05.01.2022) (in Ukrainian).
2. *Vosstanovlenie plana drenazhnoy sistemy po materialam s'emki s BPLA* [Restoration of the plan of drainage system on materials of shooting from the UAV]. (Text from the screen). URL: <https://www.geoscan.aero.ru/blog/vosstanovlenie-plana-drenazhnoy-sistemy-po-materialam-semki-s-bpla> (date of application : 05.01.2022). (in Russian).
3. Garbuzov Z. and Donskoi V. *Ekskavatoryi nepreryivnogo deystviya* [Continuous excavators]. Moscow : "Vysshaya Shkola", 1987, 288 p. (in Russian).
4. *Proizvodstvo zemlyanykh rabot. Svod pravil po sooruzheniyu magistralnykh gazoprovodov* [Production of earthworks. Code of Rules for the Construction of Main Gas Pipelines]. SP 104-34-96. Moscow : Ministry of Construction of the RF, 1996, 28 p. (in Russian).
5. Livinskyi O. et al. *Tekhnolohiia budivelnoho vyrobnytstva (Knyha 1: zahalni vidomosti pro budivnytstvo, roboty pidhotovchoho periodu, zemliani roboty ta in.)* [Technology of construction production. Book 1: general information about construction, preparatory work, earthworks, etc.]. Kyiv : UAN, "MP Liusi", 2012, 416 p. (in Ukrainian).
6. Vetrov Yu. et al. *Mashyny dlya zemlyanykh rabot* [Earthmoving machines]. Kyiv : "Vyshcha Shkola", 1981, 384 p. (in Russian).
7. Khmara L., Kravets S., Skobliuk M. et al. *Mashyny dlia zemlianykh robir* [Earthmoving machines]. Textbook. Eds by L.A. Khmara та S.V. Kravets. Kharkiv : KNAHU, 2014, 548 p. (in Ukrainian).
8. Hlazkov A., Manakov N. and Pankratov A. *Stroitel'naya, dorozhnaya i spetsial'naya tekhnika otechestvennogo proizvodstva* [Construction, road and special equipment of domestic production]. Quick Reference. Moscow : ZAO "Biznes-Arsenal", 2000, 816 p. (in Russian).
9. Zakharchuk B. et al. *Buldozery i ryhliteli* [Bulldozers and rippers]. Moscow : Mashinostroenie, 1987, 240 p. (in Russian).
10. *Tekhniko-ekspluatatsionnaya harakteristika mashin firmy "Caterpillar"* [Technical and operational characteristics of Caterpillar machines] Directory. Illinois, USA : Caterpillar Inc., 1999, 724 p. (in Russian).
11. *Uslugy pogruzchika AMKADOR i ekskavatora JCB v Sumah* [Services of AMKADOR loader and JCB excavator in Sumy]. (Text from the screen). URL: <http://abb.sumy.ua/arenda-frontalnogo-pogruzchika.html> (date of application: 05.01.2022). (in Russian).

Надійшла до редакції: 15.01.2022.

УДК 66.001.5:693.546

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.80.836

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТНИХ РІШЕНЬ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ 3D-ДРУКУ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ

ШАТОВ С. В.^{1*}, докт. техн. наук, доц.,

САВИЦЬКИЙ М. В.², докт. техн. наук, проф.,

ГОЛУБЧЕНКО О. І.³, канд. техн. наук, доц.,

МАЦЮК І. М.⁴, канд. техн. наук, доц.,

ШЛЯХОВ Е. М.⁵, доц.

^{1*} Кафедра будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: ALEXGOL@UA.FM, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263

⁴ Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 453-99-92, e-mail: matsiuk.i.m@nmu.one, ORCID: 0000-0002-0861-0933

⁵ Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 368-77-21, e-mail: shlyahove@nmu.org.ua, ORCID: 0000-0001-5983-9853

Анотація. Постановка проблеми. До інноваційних технологій у будівництві належить 3D-друку об'єктів різного призначення. В основі технології 3D-друку лежить принцип пошарового створення твердої моделі. Ця технологія базується на використанні будівельних 3D-принтерів, які за призначенням поділяються на принтери, що друкують будівлю повністю, і принтери, які створюють окремі конструктивні елементи для монтажу об'єктів. За конструкцією 3D-принтери бувають прогінного типу (головним чином у вигляді мостових конструкцій) та з консольним виконанням робочого обладнання у вигляді маніпуляторів. Принтери мостового типу дозволяють отримати більш якісні вироби за рахунок точного позиціонування робочого обладнання, у першу чергу екструдера, яким безпосередньо подається суміш. За короткий час розвитку 3D-друку в будівництві (15...16 років) створено значну кількість різноманітних 3D-принтерів мостового типу, однак відсутні відомості з їх дослідження та порівняльного аналізу характеристик, що дозволить удосконалити їх конструкцію для підвищення якості зведення об'єктів. **Мета** – порівняльний аналіз характеристик та показників роботи варіантних конструкцій 3D-принтерів мостового типу. **Результати дослідження.** На підставі аналізу варіантів виконання принтерів розроблено удосконалений 3D-принтер у вигляді мостової конструкції з екструдером із двома вихідними отворами. Це дозволяє значно підвищити продуктивність виготовлення виробів. **Висновок.** Розглянуто різні типи будівельних 3D-принтерів мостового типу, які мають недоліки та вимагають удосконалення. Розроблено удосконалену конструкцію 3D-принтера, яка забезпечує одночасний друк декількох виробів. Аналіз показників розглянутих варіантів 3D-принтерів показав, що використання удосконаленого принтера дозволить в 1,9...2,7 раза зменшити собівартість виготовлення 1 м³ виробів та в 1,8...2,6 раза зменшити металомісткість порівняно з іншими принтерами.

Ключові слова: 3D-друку будівельних об'єктів; варіанти виконання 3D-принтерів мостового типу; удосконалений 3D-принтер

RESEARCH OF OPTIONAL EQUIPMENT SOLUTIONS FOR 3D-PRINTING OF BUILDING PRODUCTS

SHATOV S.V.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

SAVYTSKYI M.V.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

HOLUBCHENKO O.I.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

MATSIUK I.M.⁴, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

SHLIAHOV E. M.⁵, *Assoc. Prof.*

^{1*} Department of Construction and Road Machinery, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 745-23-72, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Department of Construction and Road Machinery, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-73, e-mail: ALEXGOL@UA.FM, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263

⁴ Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, 19, Ave. D. Yavornitskoho, 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 453-99-92, e-mail: matsiuk.i.m@nmu.one, ORCID ID: 0000-0002-0861-0933

⁵ Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, 19, Ave. D. Yavornitskoho, 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (097) 368-77-21, e-mail: shlyahove@nmu.org.ua, ORCID ID: 0000-0001-5983-9853

Abstract. Raising of problem. Innovative technologies in construction include 3D printing of objects for various purposes. At the heart of 3D printing technology is the principle of layer-by-layer creation of a solid model. This technology is based on the use of construction 3D printers, which are divided into printers that print the entire building and printers that create separate structural elements for the installation of objects. By design, 3D printers are of the flight type (mainly in the form of bridge structures) and with cantilever work equipment in the form of manipulators. Innovative technologies in construction include 3D printing of objects for various purposes. At the heart of 3D printing technology is the principle of layer-by-layer creation of a solid model. This technology is based on the use of construction 3D printers, which are divided into printers that print the entire building and printers that create separate structural elements for the installation of objects. By design, 3D printers are of the flight type (mainly in the form of bridge structures) and with cantilever work equipment in the form of manipulators. Bridge-type printers allow you to get better products due to the precise positioning of the working equipment, especially the extruder, which directly feeds the mixture. In the short time of development of 3D printing in construction (15...16 years) created a large number of different 3D printers of the bridge type, but there is no information on their study and comparative analysis of characteristics, which will improve their design to improve the quality of construction. **Purpose.** Comparative analysis of the characteristics and performance of variant designs of bridge-type 3D printers. **The results of the study.** Based on the analysis of printer versions, an advanced 3D printer in the form of a bridge structure with an extruder with two outlets was developed. This can significantly increase the productivity of manufacturing products. **Conclusion.** Different types of construction bridge-type 3D printers are considered, which have shortcomings and require improvement. An advanced 3D printer design has been developed that allows multiple products to be printed simultaneously. The analysis of the indicators of the considered variants of 3D printers showed that the use of an improved printer will reduce 1.9... 2.7 times the cost of manufacturing 1 m³ of products and 1.8... 2.6 times reduce the metal content compared to other printers.

Keywords: 3D- printing of building objects; versions of 3D bridge-type printers; advanced 3D printer

Постановка проблеми. До інноваційних технологій у будівництві належить 3D-друку об'єктів різного призначення. В основі технології 3D-друку лежить принцип пошарового створення твердої моделі. Ця технологія базується на використанні будівельних 3D-принтерів, які за призначенням поділяються на принтери, що друкують будівлю повністю, і такі, які створюють окремі конструктивні елементи для монтажу об'єктів.

За конструкцією 3D-принтери бувають прогінного типу (головним чином у вигляді мостових конструкцій) та з консольним виконанням робочого обладнання у вигляді маніпуляторів. Принтери мостового типу дозволяють отримати більш якісні вироби

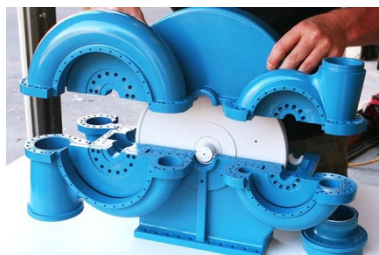
завдяки точному позиціюванню робочого обладнання, у першу чергу екструдера, яким безпосередньо подається суміш.

За короткий час розвитку 3D-друку в будівництві (15...16 років) створено значну кількість різноманітних 3D-принтерів мостового типу, однак відсутні відомості з їх дослідження та порівняльного аналізу характеристик, що дозволить удосконалити їх конструкцію для підвищення якості зведення об'єктів.

Аналіз публікацій. Створення об'єкта методом 3D-друку може здійснюватися різними способами і різноманітними матеріалами. Зараз 3D-принтер знаходить своє застосування у багатьох сферах виробництва (рис. 1): елементи та вузли

машинобудування, медицина, елементи інтер'єру, архітектура, різноманітні макети,

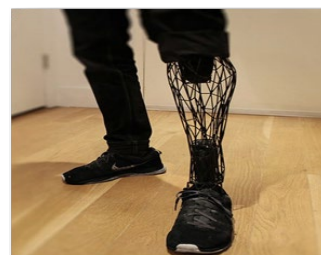
зокрема, макети космічних поселень тощо [2; 9; 13; 15].



а



б



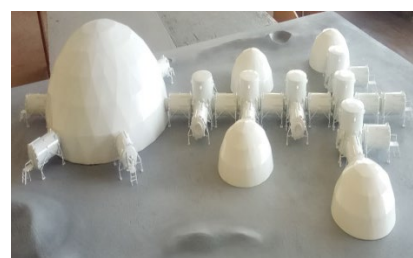
в



г



д



е

Рис. 1. Використання 3D-друку в промисловості:

а, б – машинобудування; в – медицина; г – дизайн; д – архітектура; е – макет поселення на Місяці

Будівельний 3D-принтер [1; 3–5; 8] використовує технологію екструзії, за якої кожен новий шар будівельного матеріалу видавлюється з принтера поверх попереднього (рис. 3).



Рис. 3. Процес укладання матеріалу 3D-принтером

Будівельні принтери ділять на дві групи: принтери, які друкують будівлю повністю (рис. 4 а, б), і такі, що друкують окремі конструктивні елементи (рис. 4 в, г), які використовують для зведення об'єктів. 3D-друк будівельних об'єктів у цілому доцільний, коли вони мають відносно невеликі габаритні розміри у площині

(6 × 8 м) та один-два поверхи. Це дозволяє в найкоротші терміни звести споруди за індивідуальним проектом із використанням різних матеріалів: бетонів (рис. 4 а–г), глини (рис. 4 е), комбінованих матеріалів (рис. 4 д).

Застосування 3D-принтерів для друку окремих елементів конструкцій в умовах виробництва дозволяє виключити сезонність будівництва, тобто друкувати частини будівель, витримувати їх у складських приміщеннях до набирання міцності бетоном і після цього збирати їх у будівлю на будівельному майданчику (рис. 4 г).

У процесі створення готових об'єктів задіяні мінімально двоє людей: оператор (безпосередньо керує принтером) і робітник (готує суміш, армує вироби в процесі друку, готує обладнання до використання на початку і кінці зміни). Кількість робітників залежить від розмірів обладнання і складності технологічного процесу, що залежить від конструктивних рішень виготовленого об'єкта [6; 12; 14].



а



б



в



г



д



е

Рис. 4. 3D-друк будівельних об'єктів та виробів:

а – будівельний 3D-принтер; б – зведена будівля; в – друк конструкцій; г – монтаж друкованих будівельних конструкцій; д – будівля з комбінованих матеріалів; е – споруда з глини

Принтери для 3D-друку мостового типу (рис. 5) мають різні габаритні розміри і масу, наприклад, 3D-принтер формату 12×12 м, призначений для друку малоповерхових будівель різних конфігурацій, великогабаритних виробів та конструкцій (рис. 5 а). Такі принтери мають чотири опорні стійки з двома поздовжніми балками, на яких установлена поперечна балка (мост) з візком та екструдером. У процесі зведення об'єкта переміщуються поздовжні та поперечна балки й візок з екструдером. Зараз такі конструкції принтерів дозволяють створювати малоповерхові будівлі різних архітектурних рішень. На перспективу існують розробки і з створення самопідйомних 3D-принтерів мостового типу для друку багатоповерхових споруд [2]. Проблема таких принтерів – це їх демонтаж після зведення об'єкта.

Для друку окремих конструкцій та виробів у закритих приміщеннях застосовують малоформатні принтери з ємністю екструдера 15...45 л, габаритами 8×2 м і масою 600...800 кг (рис. 5 б). У той же час, таке обладнання може мати значний

робочий майданчик у декілька десятків метрів (40...60) за рахунок установлення опорних колон та значної протяжності поздовжніх балок (рис. 5 в). Доцільність великого робочого майданчика зумовлена часом набирання міцності попередньо укладеного шару суміші та високою продуктивністю 3D-друку за такої організації робіт.

Завантаження підготовленої суміші в екструдер виконується двома способами: вручну робітником, який обслуговує принтер, та за допомогою бетононасоса, що нагнітає суміш від змішувача в екструдер по гнучкому трубопроводу (рис. 5 г).

Перед початком 3D-друку об'єктів та виробів раціонально змодельовати їх форму та відпрацювати цей технологічний процес [7]. Це виконується обладнанням мінімального формату з використанням реальних будівельних сумішей, що дозволяє перевірити прийняті проектні архітектурно-конструктивні рішення та отримати попередні відомості з економічних показників.



а



б



в



г

Рис. 5. Будівельні принтери мостового типу:
а – формату 12×12 м; б – формату $4,1 \times 2,5$ м; в – формату 8×2 м;
г – з нагнітанням суміші в екструдер бетононасосами

Мета статті – порівняльний аналіз характеристик та показників роботи варіантних конструкцій 3D-принтерів мостового типу.

Результати дослідження. Розглядалися такі варіанти виконання 3D-принтерів мостового типу:

- принтер фірми «Спецавіа» S-4063 (P₁);
- принтер НПП «Будресурс» (P₂);
- удосконалений принтер (P₃).

Розглянемо конструктивне виконання кожного з 3D-принтерів.

3D-принтер фірми «Спецавіа» S-4063 (P₁) містить (рис. 6 а) опорні стійки з рейками, на яких через механізми переміщення встановлена балка, і з штангою та екструдером [2]. Технічні показники принтера наведені у таблиці 1. Недолік цього принтера – малий прогін мостової балки (5,2 м), що не забезпечує повного

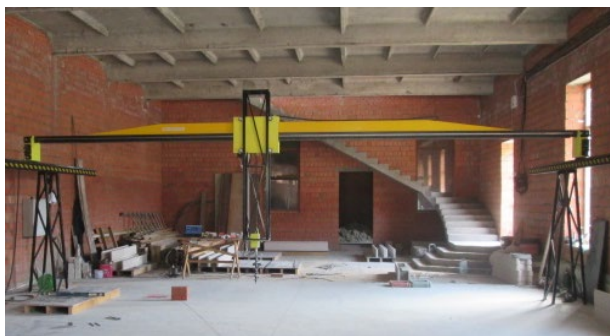
використання робочого простору виробничого приміщення.

Принтер науково-промислового підприємства (НПП) «Будресурс» (P₂) має (рис. 6 б) збільшений до 8 м прогін поперечної балки, що дозволяє повністю використати робочий простір виробничого приміщення, та збільшений до 30 мм розмір вихідного отвору (сопла насадки) екструдера [10]. Як робоче обладнання використовується екструдер, у бункері якого встановлений шнек із лопаттю та приводом. Подача з бункера виконується примусово за рахунок обертання шнека та лопаті. На екструдері встановлюють різні види насадок (сопла) залежно від технологічних вимог виготовлення виробів.

Заповнення екструдера сумішшю у всіх трьох принтерах, що розглядаються, виконується вручну.



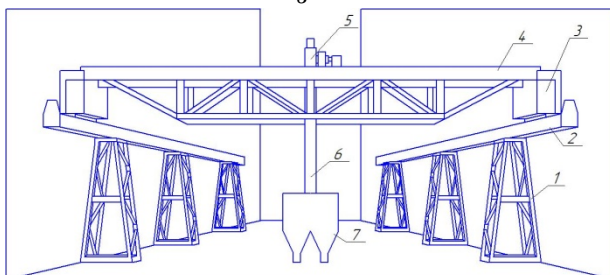
а



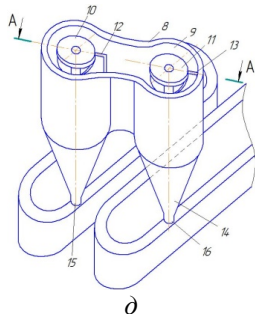
б



в



г



д

Рис. 6. Принтери мостового типу:
а – фірми «Спецавіа» S-4063; б – НПП «Будресурс»;
в – вироби; г – схема удосконаленої конструкції;
д – процес друку з використанням удосконаленого екструдера

НПП «Будресурс» проаналізувало ринок будівельних запитів та зробило висновок про доцільність 3D-друку окремих елементів споруд у виробничому приміщенні, зокрема, огорож для різних цілей (рис. 6 в). Недолік виготовлення таких виробів – це відносно невисока продуктивність обладнання, тому що одночасно виконується укладання тільки одного шару суміші.

Фахівці Придніпровської державної академії будівництва та архітектури запропонували **удосконалену конструкцію принтера (Р₃)** [11], в якому на опорних стійках 1 та рейках 2 встановлені поздовжні 3 та поперечні 4 балки з візком 5, штангою 6 та екструдером 7 (рис. 6 г). Екструдер 14 (рис. 6 д) виконаний з двома вихідними отворами 15 та 16, розташованими паралельно, причому в корпусі встановлено додатковий шнек 11, розташований напроти одного з вихідних отворів 16 та з'єднаний із двигуном. Характеристика принтера наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики 3D-принтерів, які досліджувалися

Параметр	Варіант принтера		
	P ₁	P ₂	P ₃
Робоча зона, м	3,5×5,2	3,5×8,0	3,5×8,0
Площа робочої зони, м ²	18	28	28
Робоча швидкість, м/хв	8	8	8
Розмір шару бетону, мм	8 × 20	8 × 30	8 × 30 × 2
Потужність, кВт	1,3	1,3	1,3
Габарити: довжина, мм	4 100	4 100	4 100
ширина, мм	6 000	8 200	8 200
висота, мм	2 500	2 500	2 500
Маса, кг	1 770	1 840	1 875
Вартість, тис.грн	451,4	462,2	468,7

За дії обертання шнеків 10 і 11 суміш одночасно нагнітається скрізь вихідні отвори 15 і 16 екструдера 16 та утворює шари будівельної суміші відповідно 26 та 27 на декількох виробках (рис. 7). Це дозволяє підвищити продуктивність укладання бетону та виготовлення будівельних виробів. Таким

чином відбувається друкування декількох виробів одночасно до їх необхідної висоти.

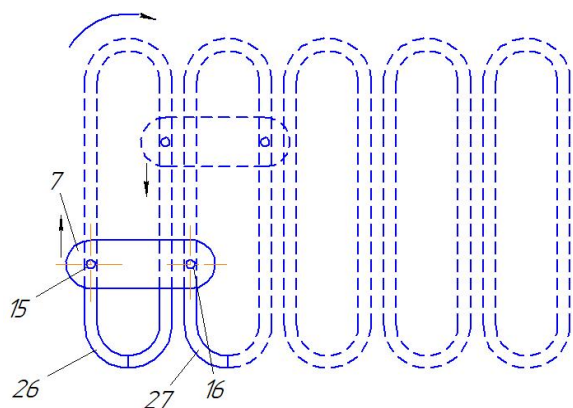


Рис. 7. Процес друку виробів 3D-принтером удосконаленої конструкції

Оцінювання кожного з варіантів обладнання 3D-принтерів виконуємо за трьома показниками:

1. Експлуатаційна продуктивність за годину P_{zi} :

$$P_{zi} = 60 \cdot V_p \cdot h_{ш} \cdot b_{ш} \cdot \kappa_e, \quad (1)$$

де V_p – робоча швидкість руху екструдера, м/хв; $h_{ш}$ – висота шару бетону, м; $b_{ш}$ – ширина шару бетону, м; κ_e – коефіцієнт використання обладнання за часом, $\kappa_e = 0,85$.

2. Металомісткість M_i :

$$M_i = \frac{m_i}{P_{zi}}, \quad (2)$$

де m_i – маса обладнання.

3. Собівартість друку 1 м^3 виробів за рік C_{pi} :

$$C_{pi} = C_i / P_{zi} t_p, \quad (3)$$

де t_p – тривалість роботи обладнання за рік за двозмінної роботи, $t_p = 3\,400$ годин.

Розрахунок показників для кожного з варіантів виконання принтерів наведений в таблиці 2, а також у вигляді графічних залежностей (рис. 8).

Аналіз розрахунків показників розглянутих варіантів 3D-принтерів показав, що використання удосконаленого принтера дозволить в 1,9...2,7 рази зменшити собівартість виготовлення 1 м^3 виробів та в 1,8...2,6 рази зменшити металомісткість порівняно з іншими видами 3D-принтерів. Це досягається за рахунок

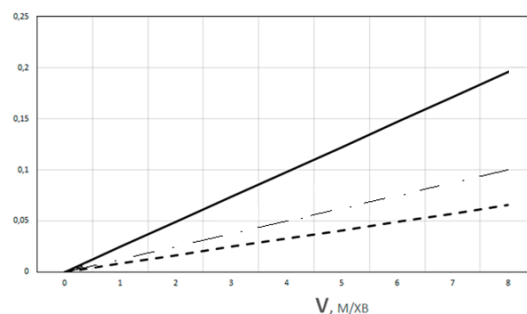
більшої продуктивності удосконаленого обладнання.

Таблиця 2

Результати розрахунків показників 3D-принтерів, які досліджувалися

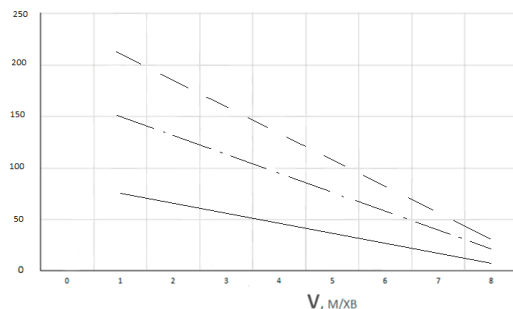
Варіант виконання принтера	Продуктивність, P_{zi} , $\text{м}^3/\text{год}$	Металомісткість M_i , $\text{т год}/\text{м}^3$	Собівартість друку 1 м^3 виробів за рік, C_{pi} , тис.грн рік/ м^3
P ₁	0,0653	27,12	2,03
P ₂	0,098	18,78	1,39
P ₃	0,1959	9,57	0,7

P_{zi} , $\text{м}^3/\text{год}$



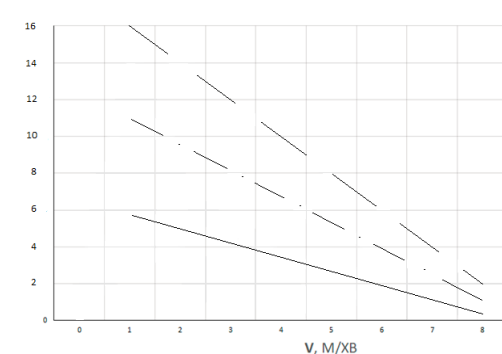
а

M_i , $\text{т год}/\text{м}^3$



б

C_{pi} , тис.грн рік/ м^3



в

Рис. 8. Залежності показників 3D-принтерів від їх виконання та швидкості руху екструдера V_p : а – продуктивності P_{zi} ; б – металомісткості M_i ; в – собівартості виготовлення 1 м^3 виробів за рік C_{pi} ; --- P₁; -.-.- P₂; ----- P₃

Висновки. 1. До інноваційних технологій у будівництві належить 3D-друк об'єктів різного призначення.

2. Розглянуто різні типи будівельних 3D-принтерів мостового типу, які мають недоліки та вимагають удосконалення.

3. Розроблено удосконалену конструкцію 3D-принтера, яка забезпечує одночасний друк декількох виробів.

4. Аналіз показників розглянутих варіантів 3D-принтерів показав, що використання удосконаленого принтера дозволить в 1,9...2,7 раза зменшити собівартість виготовлення 1 м³ виробів та в 1,8...2,6 раза зменшити металомісткість порівняно з іншими принтерами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук О. В., Оласюк П. Я. Застосування технології 3D-друку в будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві*. 2015. Вип. 3. С. 11–18.
2. Савицький М., Айріх Ш., Халаф І. та ін. Архітектурно-конструктивно-технологічна система 3D-друку будівельних об'єктів : колективна монографія; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2019. 233 с.
3. Будко А. А., Потехин А. А., Акопян А. А. Применение 3D-принтеров в строительстве: достоинства и недостатки технологии : сб. науч. тр. Красноярск : Инновационный центр развития образования и науки, 2017. С. 112–119.
4. Левинская А. Стройка 3D. URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9>
5. Литвиненко Ю. М., Остапенко С. О., Рогозинський А. А., Солонін Ю. М. Ручна версія 3D-друкування. *Science and innovation*. 2019, Вип. 15(5), С. 78–83 URL: <http://scinneng.org.ua/sites/default/files/pdf/2019/N5/Lytvyenko.pdf>.
6. Лунева Д. А., Кожевникова Е. О., Калюшина С. В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития. *Вестник Пермского национального исследовательского университета. Строительство и архитектура*. 2017. Т. 8, № 1. С. 90–101.
7. Савицький М. В., Конопляник О. Ю., Мислицька А. О., Лясота О. М. Визначення фізико-механічних характеристик бетонів для 3D-друку будівельних конструкцій. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 2. С. 59–68. URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/201966>.
8. Торшин А. О., Потапова Е. Н. Перспективы использования 3D-принтера в строительстве. *Успехи в химии и химической технологии*. ТОМ XXX, № 7. Москва, 2016. С. 118–120.
9. Шатов С. В., Савицкий Н. В., Карпушин С. А. Обобщение инновационных технологий 3D-печати строительных объектов для разработки стартапов. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. Вып. 99. 2017. С. 194–200.
10. Шатов С. В., Савицький М. В., Марченко І. О. Удосконалення обладнання 3D-друку об'єктів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. Вип. 6. С. 90–101. URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/192233>.
11. Патент України № 144178; опубл. 10.09.2020; Бюл. № 17. 5 с.
12. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies. *Automation in Construction*. 2004. Vol. 13, iss. 1. Pp. 5–19. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
13. Lipson H. Fabricated. The New World of 3D Printing. Hod Lipson, Melba Kurman. [Indiana] : Wiley, 2013. 320 p.
14. Savytskyi N. V., Shatov S. V., Ozhyshchenko O. A. 3D-printing of build objects. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 3. С. 18–26.
15. Joop de Boer Which Architect Is Winning The 3D Printing Rat Race? Pop-Up City. 2014. 1 July. URL: <http://popupcity.net/which-architect-is-winning-the-3d-printing-rat-race/>.

REFERENCES

1. Andriichuk O.V. and Olasiuk P.Ya. *Zastosuvannia Tekhnolohii 3D-Druku V Budivnytstvi* [Application of 3D printing technology in construction]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunku v budivnytstvi* [Modern technologies and methods of calculation in construction]. 2015, iss. 3, pp. 11–18. (in Ukrainian).
2. Savytskyi M., Airikh Sh., Khalaf I. Z. and oth. *Arkhitekturno-konstruktyvno-tekhnolohichna systema 3d-druku budivelnykh ob'ektiv : kolektyvna monohrafiia za zah. red. d-ra tekhn. nauk, prof. M. Savytskoho* [The architectural-constructive-technological system of the construction objects 3D-printing: collective monograph; gen. ed. by prof. M. Savytskyi]. Dnipro: FOP Udovychenko O.M., 2019, 233 p. (in Ukrainian).

3. Budko A.A. *Primenenie 3D-printerov v stroitel'stve, dostoistva i nedostatki technology : sbornik nauchnikh trudov* [The use of 3D printers in construction, the advantages and disadvantages of technology : coll. of scient. papers]. Krasnoyarsk : Innovation Center for the Development of Education and Science, 2017, pp. 112–119. (in Russian).
4. Levinskaya A. Stroyka 3D [Building 3D]. URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9> (in Russian).
5. Lytvynenko Yu.M., Ostapenko S.O., Rohozynskyi A.A. and Solonin Yu.M. *Ruchna versiiia 3D-drukuvannia*, [Manual version of 3D printing]. Science and Innovation. 2019, iss. 15 (5), pp. 78–83. URL: <http://scinneng.org.ua/sites/default/files/pdf/2019/N5/Lytvynenko.pdf>. (in Ukrainian).
6. Luneva D.A. *Primenenie 3D-pechati v stroitel'stve i perspective razvitiyi* [The use of 3D printing in construction and the prospects for its development]. *Vesnik Perskogo natsionalnogo isledovatel'skogo universiteta* [Bulletin of Perm National Research University]. 2017, iss. 8, no. 1, pp. 90–101. (in Russian).
7. Savytskyi M., Konoplianyk O., Myslytska A. and Liasota O. *Vyznachennia fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk betoniv dlia 3D-druku budivelnnykh konstrukttsii* [Determination of physical and mechanical characteristics of concrete for 3D-print building structures]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2020, iss. 2, pp. 59–68. URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/201966>. (in Ukrainian).
8. Torchin A.O. *Perspective ispolzovaniy 3D-printera v stroitel'stve* [Prospects for using a 3D printer in construction]. *Uspechi v khimii i khimicheskoy technology* [Advances in Chemistry and Chemical Technology]. 2016, iss. XXX, no. 7, pp. 118–120. (in Russian).
9. Shatov S.V., Savytskyi N.V. and Carpushin S.A. *Obobchenie innovatsionnykh technology 3D-pechati stroitel'nykh ob'ektov gly razrabotki startapov* [Generalization of innovative technologies for 3D printing of building objects for the development of start-ups]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2017, iss. 99, pp. 194–200. (in Russian).
10. Shatov S.V., Savytskyi M.V. and Marchenko I.O. *Udoskonalennia obladnannia 3D-druku ob'ektiv* [The improving 3D printing equipment]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, iss. 6, pp. 90–101. URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/192233>. (in Ukrainian).
11. Patent UA no. 144178; published 10.09.2020; bulletin no. 17, 2020, 5 p. (in Ukrainian).
12. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies. *Automation in Construction*. 2004, vol. 13, iss. 1, pp. 5–19. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
13. Lipson H. *Fabricated. The New World of 3D Printing*. Hod Lipson, Melba Kurman. [Indiana] : Wiley, 2013, 320 p.
14. Savytskyi N.V., Shatov S.V. and Ozhyschenko O.A. 3D-printing of build objects. *Visnyk Prydniprovskoy derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2016, no. 3, pp. 18–26.
15. Joop de Boer. Which Architect Is Winning The 3D Printing Rat Race? Pop-Up City. 2014, 1 July. URL: <http://popupcity.net/which-architect-is-winning-the-3d-printing-rat-race/>.

Надійшла до редакції: 02.02.2022.

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

Редколегія не завжди поділяє авторську точку зору.

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

Адреса редакції:

✉ вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Україна, м. Дніпро
кімната 501 (відповідальний секретар)

☎ +38(050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Підписано до друку 01.03.2022 р. Формат 60×84 1/8.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 5,50. Умовн. фарб.-відб. арк. 5,50.

Обл.-видавн. арк. 11,00. Наклад 50 прим. Зам. 176

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 is performed in the Editorial Department of PSACEA.

Editorial address:

✉ room 501 (Executive Secretary)

24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine

☎ +38 (050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Sent to press on 01 March 2022. Format 60×84 1/8.

Digital printing. Conventional quire 5,50. Conventional colour imprints 5,50.

Publisher's signatures 11,00. Number of copies 50. Order 176