

УДК 624.012.35, 624.012.35-183.4, 624.012.4-183.2
DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.50.1160

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ БУДІВНИЦТВА МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

ДІКАРЕВ К. Б.¹, канд. техн. наук, доц.,
МОВЧАН О. Ю.^{2*}, асп.,
КУЦЕНКО-СКОКОВА А. О.³, канд. техн. наук, доц.,
СОПІЛЬНЯК А. М.⁴, канд. техн. наук, доц.,
ПАПІРНИК Р. Б.⁵, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: kdikarev@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

^{2*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: movchan.olexandr@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-4430-683X

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: skokova.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

⁴ Кафедра нарисної геометрії та графіки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: sopilniak.artem@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

⁵ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

Анотація. Постановка проблеми. Для відновлення України після масштабних руйнацій внаслідок збройної агресії необхідно дослідити способи швидкого та економічно доцільного будівництва. Одним із перспективних рішень є застосування незнімної опалубки, що спрощує процес бетонування, підвищує енергоефективність та дозволяє скоротити строки зведення об'єктів. **Мета статті.** Провести літературний огляд робіт, присвячених використанню незнімних опалубок, зокрема сучасних технологій та матеріалів. Передбачено оцінити переваги й недоліки таких систем, проаналізувати їхню сумісність із локальною сировиною, а також потенціал залучення до монтажу фахівців нижчої кваліфікації без зниження якості конструкцій. **Висновок.** Досліджено досвід використання незнімної опалубки в Україні та за кордоном. Розглянуто ключові тенденції розвитку: забезпечення енергоефективності завдяки теплоізоляційним вставкам, підвищення несучої здатності через залучення композитних матеріалів, а також використання пластику та скловолокон для захисту від корозії й зменшення ваги. Проаналізовано два основні типи незнімної опалубки: ту, що включається до роботи конструкції (армоцементна, залізобетонна, металеві листи тощо), і ту, що не бере участі у спільній роботі та виконує допоміжні функції (наприклад, склофібробетонні чи полімерні панелі). Визначено, що нині бракує досліджень щодо використання локальних будівельних матеріалів, властивих Україні (піски, вапняки, відходи металургійного виробництва), які можуть зменшити собівартість опалубки та логістичні витрати. Світовий досвід свідчить про ефективність незнімної опалубки у житловому та промисловому будівництві, а також про перспективність її впровадження у мостобудуванні й у складних конструкціях, де потрібна підвищена довговічність. Згаданий підхід дає змогу скоротити час виконання робіт і зменшити кількість відходів за рахунок відсутності етапу демонтажу. У підсумку, незнімна опалубка є ефективним інструментом прискореного будівництва та відновлення зруйнованих об'єктів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку конструкцій, що базуються на вітчизняній сировині, на оптимізацію форми блоків і методів монтажу, а також на оцінку можливості ширшого залучення до монтажу кадрів нижчої кваліфікації. Це сприятиме зниженню вартості будівництва, забезпечуючи належну якість та довговічність створюваних споруд.

Ключові слова: незнімна опалубка; швидкий монтаж; локальні матеріали

RESEARCH ON THE USE OF PERMANENT FORMWORK TO REDUCE CONSTRUCTION TIME FOR LOW-RISE BUILDINGS AND STRUCTURES

DIKAREV K.B.¹, *PhD. (Tech.), Assoc. Prof.*,
MOVCHAN O.Yu.^{2*}, *Postgrad. Stud.*,
KUTSENKO-SKOKOVA A.O.³, *PhD., Assoc. Prof.*,
SOPILNIAK A.M.⁴, *PhD. (Tech.), Assoc. Prof.*,
PAPIRNYK R.B.⁵, *PhD. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: kdikarev@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

^{2*} Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: movchan.olexandr@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-4430-683X

³ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: skokova.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

⁴ Department of Descriptive Geometry and Graphics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: sopilniak.artem@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

⁵ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

Abstract. Problem Statement. In order to restore Ukraine after the extensive destruction caused by armed aggression, it is necessary to explore methods of rapid and cost-effective construction. One promising solution is the use of permanent formwork, which simplifies the concreting process, improves energy efficiency, and shortens the time needed for erecting facilities. **Purpose of the Article.** To conduct a literature review of works devoted to the use of permanent formwork, focusing on modern technologies and materials. The goal is to assess the advantages and disadvantages of such systems, analyze their compatibility with locally sourced raw materials, and explore the possibility of involving lower-skilled workers in installation without compromising the quality of the structures. **Conclusion.** The paper examines the experience of using permanent formwork in Ukraine and abroad. Key development trends are considered: achieving energy efficiency through thermal insulation inserts, increasing load-bearing capacity with the help of composite materials, and employing plastics and glass fibers for corrosion protection and weight reduction. Two main types of permanent formwork are analyzed: the kind that is integrated into the structure's load-bearing system (ferrocement, reinforced concrete, metal sheets, etc.) and the kind that does not contribute to the structure's overall capacity but serves auxiliary functions (e.g., glass-fiber-reinforced concrete or polymer panels). It has been determined that there is currently a lack of research on using local Ukrainian building materials (such as sand, limestone, and metallurgical waste) that could help reduce formwork costs and logistical expenses. Global experience indicates the effectiveness of permanent formwork in residential and industrial construction, as well as the potential for its use in bridge-building and other complex structures requiring enhanced durability. This approach helps shorten construction times and reduce waste by eliminating the dismantling stage. In summary, permanent formwork is an effective tool for accelerated construction and restoration of damaged facilities. Further research should focus on developing systems that rely on domestic raw materials, optimizing block shapes and installation methods, and assessing the possibility of broader involvement of lower-skilled labor. This would help reduce building costs while maintaining the required quality and durability of the resulting structures.

Keywords: *permanent formwork; rapid assembly; local materials*

Актуальність. Станом на червень 2023 року, за даними Київської школи економіки (KSE – Kyiv School of Economics) загальна сума збитків, завданих Україні через російську агресію та повномасштабне вторгнення оцінюється у \$150,5 млрд [10]. Серед них на житлові будівлі припадає 55,9 млрд, що складає 37 % від загальних

збитків. Це, за приблизними підрахунками, 167,2 тис. будівель, серед яких 147,8 тис. грн – це приватні будівлі, 19,1 тис. грн – багатоквартирні і близько 350 гуртожитків. На активи підприємств і промисловість припадає 11,4 млрд грн (7,5 %). Це, щонайменше, 426 великих та середніх підприємств.

За даними МВФ, населення України з 2021 по квітень 2024 року через воєнні дії і тимчасову окупацію територій скоротилося на 19 % [16]. Це пропорційно зменшує кількість наявних в Україні спеціалістів будівельної галузі.

У 2023 році Кабінетом Міністрів України була прийнята постанова про реалізацію експериментального проекту з відбудови населених пунктів, які постраждали внаслідок збройної агресії російської федерації [4].

Одним із методів скорочення термінів будівництва може бути використання незнімної опалубки. Незнімна опалубка – це блоки або панелі з різних матеріалів, які монтують в єдину монолітно-опалубну конструкцію [1]. Головною особливістю незнімної опалубки є те, що вона після процесу твердіння бетону не демонтується, а залишається частиною конструкції.

Метою статті є дослідження сучасних технологій незнімних опалубок, які сьогодні є поширеними в Україні та світі. Необхідно виявити, як можна застосувати незнімну опалубку для зведення будівель і споруд в короткі терміни, дослідити існуючі проблеми використання незнімної опалубки,

оцінити переваги та недоліки її застосування.

Необхідно визначити, які технології монтажу незнімної опалубки підходять для швидкого зведення малоповерхових будівель та споруд, а також виявити матеріали для виготовлення незнімної опалубки, що дають змогу знизити її вартість та масу.

Аналіз публікацій. Досвід швидкого відновлення країни у повоєнний час дослідили у своїй роботі В. Даценко, О. Дмитренко, В. Курило, В. Набок «Політика після війни та стихійного лиха: досвід восьми країн» де розглянуто, як різні країни проходили шлях відбудови [3]. Наголошується, що швидкі темпи будівництва – це одна із запорук успішного відновлення зруйнованих територій.

М. Битько та В. Бойко у своїй статті виділили наступні способи класифікації незнімних опалубок – за формою, за матеріалом, за товщиною стінки. За формою це можуть бути – кутові, проміжні, для стін з нестандартними кутами. За матеріалом опалубки – полістирол, штучний камінь, дерево у вигляді тріски, тощо.



Рис. 1. Класифікація незнімної опалубки

У роботах українських вчених М. Ковалю, А. Фаля та С. Стояновича незнімні опалубки для залізобетонних плит проїзної частини мостів досліджується можливість використання незнімної опалубки під час їх будівництва [5; 6]. Автори пропонують класифікувати опалубку як ту, що включається в сумісну роботу плити (армоцементна, деревостружкова на цементному розчині, залізобетонна, металева), так і на ту, що не

включається в сумісну роботу з плитою (склофібробетонна, пластикова з армуванням скловолокном). В результаті дослідження, автори статті встановили, що незнімну опалубку доцільно використовувати для влаштування перекриття мостів, при чому, вона самостійно здатна витримувати навантаження матеріалу при влаштуванні перекриття, після чого може бути включена в роботу несучої конструкції. Отже, можна

буде розглянути можливість використання незнімної опалубки також і для влаштування перекриттів будівель.

Будівельні матеріали, технології та форми для виготовлення незнімної опалубки, а також їхні комбінації постійно вдосконалюються.

Наприклад, у дослідженні малазійських учених [11] запропоновано використання незнімної опалубки із деревоволокнистих панелей з використанням цементу в якості в'язучого матеріалу (рис. 2, д). Додатково була досліджена здатність опору пожежі, згідно європейських стандартів з пожежної

безпеки BS 476-22:1987. У згаданих вище нормах конструкція має безперервно витримувати 2 години пожежі. Натурний експеримент показав, що конструкція виявилася пожежестійкою.

В роботі [22] китайські вчені дослідили незнімну опалубку для балок U-подібного перерізу. Для цього були обрані балки, виготовлені із композитних цементних матеріалів різної товщини (рис. 2, з). Як результат – несуча здатність балок збільшилася від 44,5 % до 81,4 %, а деформаційна здатність – від 77,6 % до 288 %.

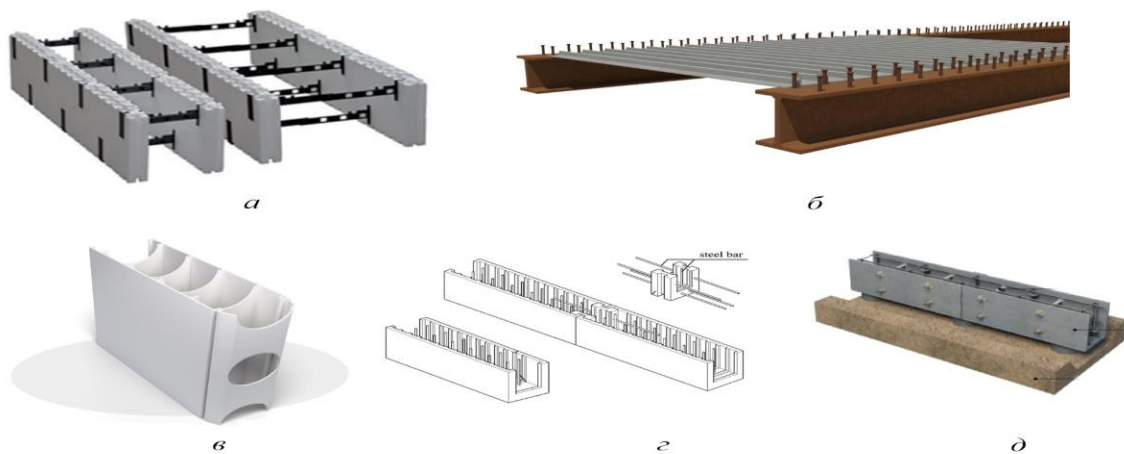


Рис. 2. Різновиди незнімної опалубки: а – пінополістирольна, б – металева, в – полівінілхлоридна, г – з композитного бетону, д – цементно-стружечна

Незнімну опалубку із цементних композитів надвисокої міцності також досліджували автори з Китаю [19]. Описані ними блоки опалубки здатні створювати додатковий захист від можливих тріщин, і можуть забезпечити захист для конструкції в умовах агресивного середовища. Також у наведеній статті було зазначено, що фабричне виробництво такої опалубки суттєво зменшує вартість її застосування. Дослідниками було розроблено опалубку прямокутної форми з ребрами жорсткості, а також три конектори, у формі + для з'єднання 4 прямокутних блоків між собою по центру, у формі Т для з'єднання двох панелей по ребрах, і у формі L – для формування кута. Опір на стискання склав 40,2 МПа. Після цього були проведені випробування, в яких було визначено граничні навантаження на конструкції:

171,6 кН для утворення тріщин, 290,9 кН для переходу у стан текучості та 323,9 кН як граничне навантаження. Автори статті декларують необхідність продовжити дослідження для визначення оптимальної форми конструкції.

У статті [23] розглядається використання текстильно-армованого бетону в якості незнімної опалубки, та досліджуються його міцнісні характеристики. Китайськими дослідниками з'ясовано найбільш популярні сценарії руйнування – це руйнування кута, руйнування отвору для встановлення з'єднувального болта та руйнування тріщин на з'єднаннях. Також було порівняно з цільними бетонними колонами, і з'ясовано, що колони з незнімної опалубки більш стійкі до руйнування, і мають більш

прогнозований та контрольований розвиток тріщин.

У статті Крістофера Леунга з університету Гонконга було розглянуто можливість виготовлення псевдо-пластичної незнімної опалубки [14]. Виготовляється вона з бетону з додаванням 2 % полівінілалкоголю. Також 80 % цементу було замінено літаючою золою, яка не приймає участі в процесі гідратації і виступає в ролі наповнювача. При цьому досліді показали збільшення міцності і можливості деформації на 40 %. За допомогою цієї технології були розроблені балки, перерізом 100×150 мм, де 30 мм – армована опалубка (тільки знизу), а решта – стандартна бетонна балка, і довжиною 1 600 мм. Такі балки змогли витримати навантаження до 40 кН, після чого на них з'явилися тріщини. В результаті дослідження, з'ясувалося, що в неармованій опалубці великі тріщини, які виникають при стандартному заливанні бетону, замінюються на багато тонких тріщин, які перешкоджають проникненню води до арматури, завдяки чому знижується ризик її корозії. Якщо додати армування, то руйнування відбувається у вигляді відшарування основного шару бетону від опалубки, що можна усунути, додавши поперечні пази вздовж балки. Недоліком даної конструкції є висока вартість матеріалів, та необхідність встановлення поперечних дерев'яних щитів опалубки.

У роботі індійських авторів [20] розглядається можливість використання пластику, як матеріалу для незнімної опалубки (рис 2, в). В якості переваг наводяться наступні показники – дешевизна матеріалу, його невелика маса в порівнянні з металом або бетоном, низька вартість обслуговування. При цьому, в залежності від матеріалу, така опалубка може бути як незнімною, так і знімною, і може бути використана повторно.

Учені з Австралії у своїй роботі [17] наводять дослідження використання незнімної опалубки із різних композитних матеріалів, таких як полівінілхлорид та фіброармований пластик. За рахунок

другого вдалося досягти суттєвої економії як у роботі, так і у матеріалі. Були проведені експериментальні випробування конструкції з прикладенням навантаження 10 000 кН. Після цього було розглянуто розрахунок конструкції у ABAQUS і проведено кореляцію розрахункової моделі з реальними результатами експерименту. Як зазначається, завдяки використанню незнімної опалубки вдалося також спростити схему армування у деяких конструкціях.

Нвзад Абдулджабар у своїй статті розглянув можливість використання ПВХ труб в якості незнімної опалубки, і дослідив переваги таких конструкцій з аспекту додаткового захисту залізобетонних конструкцій від зовнішніх факторів [18]. Використання ПВХ труб в якості опалубки допомагає зменшити втрату вологості для гідратації свіжого бетону, зменшити витрати у процесі твердіння бетону, створити додатковий захист від температурних перепадів, також зменшити можливі пластичні деформації та додатково захистити пори бетону. У статті було розглянуто можливість використання різних полімерів з армоволокном, а також застосування труб в межах від 32 до 200 мм. Як зазначається авторами статті, головний недолік такого способу опалублювання – це висока вартість полімерів та робочої сили.

Р. Федюк у своїй роботі [15] дослідив застосування незнімної опалубки для несучих стін із пінополістиролу (рис 2, а). Було з'ясовано, що при використанні щільних з'єднань можна мінімізувати мости холоду. Низька вага конструкції зменшує витрати на транспортування та встановлення. Також такі блоки не поглинають вологу, тому можуть виступати додатково і гідроізоляцією.

В статті Рона Аріяна зазначається, що в Туреччині вже проводилися дослідження незнімної опалубки з пінополістиролу у цивільному будівництві, враховуючи її переваги в енергоефективності за рахунок того, що конструкція із полістиролу залишається в якості утеплювача [21]. Були

спроби ввести цю технологію у масове використання на рівні з цегляною кладкою.

Більш детально незнімна опалубка із пінополістиролу була досліджена одним із провідних вчених України в галузі будівництва – О. Менеїлюком, а також С. Кирилюком та Л. Черепашук, де проводилося порівняння стін із різних матеріалів, таких як різні типи керамічної цегляної кладки, бетонних блоків, SIP-панелі та мультишарові панелі із незнімної опалубки за різними показниками: вартістю, товщиною стіни, масою 1m^2 стіни, опором теплопровідності, довговічністю, та іншими [12]. Як зазначають автори – незнімна опалубка виявилась одним із кращих рішень для будівництва бюджетних невеликих котеджних будинків з урахуванням вищезгаданих критеріїв. Товщина стіни складала від 290 до 340 мм, проєктна довговічність – до 100 років, будівництво можливе в будь-яку пору року, має захист від вологи та порівняно низьку вартість доставки матеріалів. Авторами статті було додатково розроблено та запатентовано три типи опалубки для будівництва стін житлових будинків.

У монографії [7] О. Лапенко детально описує дослідження бетонування в незнімній опалубці зі сталевих елементів, наприклад, труб або двотаврів, де ці елементи виконують як роль опалубки, так і армування. Як зазначається в праці, такі елементи досить легкі в монтажі та промислового виготовлення, а також мають вищу несучу здатність. Серед недоліків – зменшення вогнестійкості та необхідність регулярного захисту зовнішнього шару труби від корозії. За даними Українського центру сталевих будівництва (УЦСБ) лише за 2022 рік ціни на металопрокат зросли на 26 % [9]. А за оцінками Метінвест СМЦ обсяг споживання металопрокату в Україні за той же 2022 рік знизився на 55 % [8]. Тож, враховуючи дані факти, такий тип опалубки вже не можна розглядати, як економічний.

Швейцарські вчені провели дослідження з використання 3D принтерів для друку опалубки у формі будинку з подальшим

бетонуванням класичним методом [13]. Було порівняно різні матеріали для опалубки: бетон, глину, полімери, і різні методи друку опалубки. Також зазначається, що при використанні класичних видів опалубки, витрати на її монтаж та демонтаж становлять близько 80 % від загальної вартості бетонування, через що досить часто відбувається недоцільне використання матеріалів, оскільки економія на встановленні опалубки за стандартизованими розмірами виходить більшою, ніж на бетоні.

У статті британських вчених досліджується застосування тканинної опалубки в бетонному будівництві, підкреслюючи її ефективність у структурній оптимізації та зменшенні матеріальних витрат [24]. Завдяки можливості формування складних непрямокутних елементів, вона забезпечує еквівалентну несучу здатність при скороченні використання матеріалу до 40 %, що знижує енерговитрати та екологічний вплив. Розглянуто історичний розвиток технології від геотехнічних застосувань до сучасної архітектури. Представлено методики проєктування та оптимізації форми тканинно-формованих бетонних балок, підкріплені результатами експериментів в Університеті Бата. Досліджено перспективи використання композитних тканин як незнімної опалубки та створення рівномірних попередньо напружених балок. Аналіз покращених поверхневих властивостей бетону, таких як знижена пористість і підвищена довговічність, підтверджує його переваги для міцності конструкцій та технічного обслуговування. Отримані результати демонструють потенціал тканинної опалубки у сталому будівництві через ефективне використання матеріалів та інноваційний дизайн.

Стаття Уїла Хокінза містить всебічний огляд технологій гнучкої опалубки, аналізуючи їхній історичний розвиток, сучасний стан та перспективи застосування в бетонному будівництві [25]. Традиційні жорсткі опалубки обмежують конструкції стандартними призматиками, що спричиняє

нераціональне використання матеріалів та високі викиди вуглецю. Натомість гнучка опалубка враховує пластичність бетону, дозволяючи створювати оптимізовані геометрії, які мінімізують матеріальні витрати та екологічний вплив. У статті розглянуто різні застосування гнучкої опалубки – для балок, колон, стін, оболонок і фундаментів, а також їхні конструктивні та архітектурні переваги. Окрему увагу приділено новітнім підходам до пошуку форми, структурного аналізу та армування, зокрема використанню високоміцних тканин, адаптивних форм та цифрового моделювання. Результати дослідження підкреслюють потенціал гнучкої опалубки у сталому будівництві завдяки зменшенню витрат цементу, підвищенню довговічності та вдосконаленню структурної ефективності.

У своєму дослідженні Меттіас Лешок пропонує новий підхід до сталого формоутворення для складних бетонних геометрій, використовуючи 3D-друк методом наплавлення (FDM) та водорозчинний полівініловий спирт (PVA) [26]. Традиційні опалубні методи обмежують форму та матеріали, спричиняючи значні відходи та складнощі при демонтажі. Завдяки біорозкладності та розчинності PVA запропонований підхід усуває потребу в руйнівному демонтажі, зберігаючи точність деталей і складних піднутрень у бетонних елементах. Структурну валідацію проведено на великомасштабних прототипах, які підтвердили можливість інтеграції стандартних будівельних елементів із мінімальними 3D-друкованими оболонками. Отримані результати демонструють потенціал зниження матеріальних витрат та екологічного впливу у виробництві архітектурного бетону при збереженні високої гнучкості дизайну. Це дослідження сприяє розвитку цифрових технологій у будівництві, забезпечуючи точні, ефективні та маловідходні рішення для бетонної опалубки.

У статті Пітера Гобкінсона досліджується потенціал відновлення та

повторного використання конструкційних будівельних матеріалів, таких як бетон, сталь, цегла та кам'яна кладка, у контексті циркулярної економіки [27]. Традиційні методи демонтажу та переробки спричиняють значні втрати матеріалів і їхнє знецінення, обмежуючи екологічні та економічні вигоди. На основі ґрунтовного аналізу літератури визначено ключові технічні та економічні бар'єри, що ускладнюють масштабне впровадження повторного використання конструкційних матеріалів. Окреслено новітні методи відновлення, зокрема лазерне різання зварних зсувних шпильок для сталі, удосконалені методи розділення цегли та бетону, а також 3D-друк для відновлення бетонних конструкцій. Представлено проєкт EPSRC Rebuild як ключову ініціативу з вивчення інноваційних процесів деконструкції та ремануфактуризації для високоякісного повторного використання.

Попередні результати свідчать, що інтеграція цих методів у нові циркулярні будівельні системи може суттєво зменшити відходи, вуглецевий слід і споживання первинних ресурсів. Дослідження підкреслює необхідність системних змін у будівельному проєктуванні, нормативно-правовій базі та галузевих практиках для підтримки масштабного впровадження стратегій повторного використання матеріалів.

Використовуючи дані Держстату України, можна оцінити, які матеріали на території України видобуваються в найбільшій кількості [2]. Так, на 2021 рік на вапнякові породи припадає 7,1 млн т, на піски будівельні – 15,4 млн т, крихту, гранули та порошок з природнього каменю – 16 млн т (за даними на 2020 р.). Також, за 2020 рік було утворено 404,6 млн т різних мінеральних відходів на виробництві, серед яких, в тому числі, відвальний шлак. Використання таких локальних матеріалів може стати суттєвою перевагою у формуванні кінцевої вартості незнімної опалубки.

Висновки

У будівельній галузі питання використання незнімної опалубки є актуальним, оскільки багатьма вченими та будівельними компаніями активно ведеться розробка нових і більш ефективних способів і технологій її використання. Після аналізу публікацій українських та зарубіжних дослідників за останні декілька років, можна констатувати, що ефективність використання незнімної опалубки в якості альтернативи до розбірної, особливо в аспекті швидкості і дешевизни зведення будівель і споруд є беззаперечною.

Авторами досліджено використання незнімної опалубки із різних матеріалів – металевих листів, листів із дерев'яної стружки, склеєної полімерами, або ж цементом, бетону з використанням армування скловолокном, пластику, а також полістиролу. Також розглянуто різні технології виконання незнімної опалубки: у вигляді збірних блоків, монолітним способом та друковану на 3D-принтері.

В переважній більшості публікацій незнімна опалубка розглядається для невеликого економічного житлового будівництва. Одна із основних цілей дослідження зараз – збільшення енергоефективності будівель та споруд за рахунок використання теплоізоляційних матеріалів у конструкції опалубки. Інші

вчені та будівельні компанії поставили за мету розробити незнімну опалубку для збільшення несучої здатності за рахунок використання композитних матеріалів, а також для покращення захисту бетонних конструкцій від корозії. Додатково розглянуто поліпшення умов експлуатації конструкцій в агресивному середовищі, наприклад, з підвищеною вологістю, де необхідно забезпечити додаткову ізоляцію конструкції, для запобігання контакту води і арматури.

Також було розглянуто способи оптимізації витрат за рахунок зменшення маси блоків незнімної опалубки, завдяки чому було зменшено витрати на транспортування.

Питання зниження собівартості незнімної опалубки та можливості залучення до її монтажу професійних фахівців нижчої кваліфікації (наприклад, II–III розряду замість IV) для виконання монтажних робіт залишається сьогодні розкритим неповністю.

Метою подальших досліджень є розробка незнімної опалубки з локальних будівельних матеріалів з урахуванням мінімізації маси блоку для зниження вартості логістики, а також оптимізація форми і технології монтажу незнімної опалубки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Битько М. М., Бойко В. В. Застосування незнімної опалубки – мода чи раціональний підхід? *Наукові дослідження : перспективи інноваційного розвитку суспільства і технологій*. Київ, 2017. С. 153–156.
2. Вернер І. Є., Вишневська О. А. Державна служба статистики України. *Статистичний щорічний України*. Київ, 2022. № 172. С. 242–243.
3. Даценко В., Дмитренко О., Курило В., Набок В. Житлова Політика після війни та стихійного лиха : досвід восьми країн. *Інститут аналітики та адвокації*. 2023.
4. Кабінет міністрів України. Постанова від 25 квітня 2023 р. № 382 «Про реалізацію експериментального проекту щодо відновлення населених пунктів, які постраждали внаслідок збройної агресії Російської Федерації». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2023-п#Text>
5. Коваль М. П. Випробування плити проїзної частини із зовнішнім армуванням автодорожнього залізобетонного моста. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 662. С. 245–253.
6. Коваль М. П., Фаль А. Є., Стоянович С. В. Незнімні опалубки для залізобетонних плит проїзної частини мостів. *Автошляховик України*. 2012.
7. Лапенко О. І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою. Полтава, 2009.
8. Обсяг металоспоживання в Україні знизився на 55 % : огляд ринку за підсумками 2022 року. URL: <https://dia.dp.gov.ua/obsyag-metalospozhivannya-v-ukraini-znizivsya-na-55-oglyad-rinku-za-pidsumkami-2022-roku/>
9. УЦСБ – Ціни на металопрокат в Україні за підсумками 2022-го зросли на 26 %. URL: <https://gmk.center/ua/news/cini-na-metaloprokat-v-ukraini-za-pidsumkami-2022-go-zrosli-na-26-ucsb/>

10. Kyiv School of Economics. Загальна сума прямих збитків, завдана інфраструктурі України через війну, за підсумками червня 2023 року перевищила \$150 млрд. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-pryamih-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-za-pidsumkami-chervnya-2023-roku-perevishhila-150-mlrd/>
11. Ahmad Z., Ahmad N., Ali Rahman A., Abdul Hamid H., Md Noh M.S. Fire Resistance Performance of Reinforced Concrete Column with Embedded Permanent Formwork Using Woodwool Panel. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 661. Pp. 111–117.
12. Meneiliuk Alexandr, Kyryliuk Stanislav and Cherepashchuk Larisa. Development of cost-effective enclosing structures with high heat transfer resistance. *E3S Web Conf*. 2021. Vol. 258.
13. Jipa Andrei and Dillenburger Benjamin 3D Printed Formwork for Concrete: State-of-the-Art, Opportunities, Challenges and Applications. *3D Printing and Additive Manufacturing*. 2022. № 9. Pp. 84–107.
14. Christopher K., Leung Y., Qian Cao. Development of pseudo-ductile permanent formwork for durable concrete structures. *Materials and Structures*. 2010. Vol. 43. Pp. 993–1007.
15. Fedjuk R. Axle solid concrete wall using permanent formwork of polystyrene foam. *Engineering Researches*. 2013. Pp. 105–114.
16. IMF, World Economic Outlook, April 2024. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2024/04/16/world-economic-outlook-april-2024>.
17. Kildashti Kamyar, Bijan Samali, Adnan Malik, M. Makki Alamdari. Computational simulation of eccentrically loaded reinforced concrete walls formed with modular thin-walled permanent formwork system. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 36. P. 102131. ISSN 2352-7102.
18. Nwzad Abduljabar Abdulla. Concrete filled PVC tube : a review. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 156. Hp. 321–329. ISSN 0950-0618.
19. Qing-Hua Li, Bo-Tao Huang, Shi-Lang Xu. Development of assembled permanent formwork using ultra high toughness cementitious composites. *Advances in Structural Engineering*. 2016. № 19 (7). Pp. 1142–1152.
20. Raju Prajapati Jayeshkumar Pitroda, Bhavsar J. J. Plastic formwork : New era for construction sector. *National Conference on: "Trends and Challenges of Civil Engineering in Today's Transforming World"*. 2014.
21. Ron Aryan Analyzing durability properties of insulated concrete in energy reduction for residential buildings. *Journal of Organizational Behavior Research*. 2018.
22. Rui Zhang, Peng Hu, Xiaohang Zheng, Lianheng Cai, Rui Guo, Dingbang Wei. Shear behavior of RC slender beams without stirrups by using precast U-shaped ECC permanent formwork. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 260.
23. Shichang Li, Shiping Yin. Research on the mechanical properties of assembled TRC permanent formwork composite columns. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 247. Pp. 113105. ISSN 0141-0296.
24. Orr J. J., Darby A. P., Ibell T. J., Evernden M. C., Otlet M. Concrete structures using fabric formwork. *The Structural Engineer*. 2011. Vol. 89, № 8. Pp. 20–26.
25. Will J. Hawkins, Michael Herrmann, Tim J. Ibell, Benjamin Kromoser, Alexander Michaelski, John J. Orr, Remo Pedreschi, Arno Pronk, H. Roel Schipper, Paul Shepherd, Diederik Veenendaal, René Wansdronek, Mark West. Flexible formwork technologies – a state of the art review. *Structural concrete*. 2016. Vol. 17, iss. 6. Pp. 911–935.
26. Leschok Matthias and Dillenburger Benjamin Dissolvable 3DP Formwork. *Acadia 19: Ubiquity and Autonomy. Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*. ISBN 978-0-578-59179-7. The University of Texas at Austin School of Architecture, Austin, Texas, 21–26 October, 2019. Pp. 188–197.
27. Hopkinson P., Chen H. M., Zhou K., Wang Y., Lam D. Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Engineering Sustainability*. 2019. № 172 (3). Pp. 119–128.

REFERENCES

1. Bytko M.M. and Boiko V.V. *Zastosuvannia nezniomnoi opalubky – moda chy ratsionalnyi pidkhid?* [The use of fixed formwork – fashion or rational approach?]. *Naukovi doslidzhennia : Perspektyvy innovatsiinoho rozvytku suspilstva i tekhnologii* [Scientific Research : Prospects for Innovative Development of Society and Technologies]. Kyiv, 2017, pp. 153–156. (in Ukrainian).
2. Verner I.Ye. and Vyshnevskaya O.A. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy* [State Statistics Service of Ukraine]. *Statystichni shchorichniy Ukrainy 2021* [Statistical Yearbook of Ukraine 2021]. Kyiv, 2022, no. 172, pp. 242–243. (in Ukrainian).
3. Datsenko V., Dmytrenko O., Kurylo V. and Nabok V. *Zhytlova Polityka pislia viiny ta stykhiinoho lykha : dosvid vosmy krain* [Housing Policy after War and Natural Disaster : Experience of Eight Countries]. *Instytut analityky ta advokatsii* [Institute for Analytics and Advocacy]. 2023. (in Ukrainian).
4. *Kabinet ministriv Ukrainy Postanova vid 25 kvitnia 2023 r. № 382 "Pro realizatsiiu eksperymentalnoho proektu shchodo vidnovlennia naselenykh punktiv, yaki postrazhdaly vnaslidok zbroinoi ahresii Rosiiskoi Federatsii"* [Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution of April 25, 2023 No. 382 "On the Implementation of a Pilot Project on the Restoration of Settlements Affected by the Armed Aggression of the Russian Federation"]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2023-p#Text> (in Ukrainian).

5. Koval M.P. *Vyprobuvannia plyty proiznoi chastyny iz zovnishnim armuvanniam avtodorozhnoho zalizobetonnoho mosta* [Testing of the roadway slab with external reinforcement of a reinforced concrete road bridge]. *Visnyk Natsional'nogo universitetu "Lvivska politehnika"* [Bulletin of the National University of Lviv Polytechnic]. 2010, no. 662, pp. 245–253. (in Ukrainian).
6. Koval M.P., Fal A.Ye. and Stoianovych S.V. *Nezniomni opalubky dlia zalizobetonnykh plyt proiznoi chastyny mostiv* [Fixed formwork for reinforced concrete slabs of the roadway of bridges]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy* [Ukrainian Highwayman]. 2012. (in Ukrainian).
7. Lapenko O.I. *Zalizobetonni konstruksii z robochym armuvanniam nezniomnoiu opalubkoiu* [Reinforced concrete structures with working reinforcement with fixed formwork]. Poltava, 2009. (in Ukrainian).
8. *Obsiah metalospozhyvannia v Ukraini znyzyvsia na 55 %: ohliad rynku za pidsumkami 2022 roku* [The volume of metal consumption in Ukraine decreased by 55 %: market review by the end of 2022]. URL: <https://dia.dp.gov.ua/obsyag-metalospozhyvannia-v-ukraini-znizivsya-na-55-oglyad-rynku-za-pidsumkami-2022-roku/> (in Ukrainian).
9. *UTsSB – Tsiny na metaloprokat v Ukraini za pidsumkami 2022-ho zrosly na 26 %* [UCSB – Prices for rolled metal in Ukraine increased by 26 % in 2022]. URL: <https://gmk.center/ua/news/cini-na-metaloprokat-v-ukraini-za-pidsumkami-2022-go-zrosli-na-26-ucsb/> (in Ukrainian).
10. *Kyiv School of Economics Zahalna suma priamykh zbytkiv, zavdana infrastrukturi Ukrainy cherez viinu, za pidsumkami chervnia 2023 roku perevyschyla \$150 mlrd* [Kyiv School of Economics The total amount of direct damage caused to Ukraine's infrastructure due to the war exceeded \$150 billion as of June 2023]. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-priamykh-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-za-pidsumkami-chervnya-2023-roku-perevishhila-150-mlrd/> (in Ukrainian).
11. Ahmad Z., Ahmad N., Ali Rahman A., Abdul Hamid H. and Md Noh M.S. Fire Resistance Performance of Reinforced Concrete Column with Embedded Permanent Formwork Using Woodwool Panel. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 661, pp. 111–117.
12. Meneiliuk Alexandr, Kyryliuk Stanislav and Cherepashchuk Larisa. Development of cost-effective enclosing structures with high heat transfer resistance. *E3S Web Conf.* 2021, vol. 258.
13. Jipa Andrei and Dillenburger Benjamin. 3D Printed Formwork for Concrete : State-of-the-Art, Opportunities, Challenges and Applications. *3D Printing and Additive Manufacturing*. 2022, no. 9, pp. 84–107.
14. Christopher K., Leung Y. and Qian Cao. Development of pseudo-ductile permanent formwork for durable concrete structures. *Materials and Structures*. 2010, vol. 43, pp. 993–1007.
15. Fedjuk R. Axle solid concrete wall using permanent formwork of polystyrene foam. *Engineering Researches*. 2013, pp. 105–114.
16. IMF, *World Economic Outlook*. April 2024. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2024/04/16/world-economic-outlook-april-2024>.
17. Kildashti Kamyar, Bijan Samali, Adnan Malik and M. Makki Alamdari. Computational simulation of eccentrically loaded reinforced concrete walls formed with modular thin-walled permanent formwork system. *Journal of Building Engineering*. 2021, vol. 36, p. 102131, ISSN 2352-7102.
18. Nwzad Abduljabar Abdulla. Concrete filled PVC tube : a review. *Construction and Building Materials*. 2017, vol. 156, pp. 321–329, ISSN 0950-0618.
19. Qing-Hua Li, Bo-Tao Huang and Shi-Lang Xu. Development of assembled permanent formwork using ultra high toughness cementitious composites. *Advances in Structural Engineering*. 2016, no. 19 (7), pp. 1142–1152.
20. Raju Prajapati Jayeshkumar Pitroda and Bhavsar J.J. Plastic formwork : New era for construction sector. National Conference on : “Trends and Challenges of Civil Engineering in Today's Transforming World”. 2014.
21. Ron Aryan Analyzing durability properties of insulated concrete in energy reduction for residential buildings. *Journal of Organizational Behavior Research*. 2018.
22. Rui Zhang, Peng Hu, Xiaohang Zheng, Lianheng Cai, Rui Guo and Dingbang Wei. Shear behavior of RC slender beams without stirrups by using precast U-shaped ECC permanent formwork. *Construction and Building Materials*. 2020, vol. 260.
23. Shichang Li and Shiping Yin. Research on the mechanical properties of assembled TRC permanent formwork composite columns. *Engineering Structures*. 2021, vol. 247, p. 113105, ISSN 0141-0296.
24. Orr J.J., Darby A.P., Ibell T.J., Evernden M.C. and Otlet M. Concrete structures using fabric formwork. *The Structural Engineer*. 2011, vol. 89, no. 8, pp. 20–26.
25. Will J. Hawkins, Michael Herrmann, Tim J. Ibell, Benjamin Kromoser, Alexander Michaelski, John J. Orr, Remo Pedreschi, Arno Pronk, H. Roel Schipper, Paul Shepherd, Diederik Veenendaal, René Wansdronk and Mark West. Flexible formwork technologies – a state of the art review. *Structural Concrete*. 2016, vol. 17, iss. 6, pp. 911–935.
26. Leschok Matthias and Dillenburger Benjamin. Dissolvable 3DP Formwork. *Acadia 19 : ubiquity and autonomy*. Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA). ISBN 978-0-578-59179-7. The University of Texas at Austin School of Architecture, Austin, Texas, 21–26 October, 2019, pp. 188–197.
27. Hopkinson P., Chen H.M., Zhou K., Wang Y. and Lam D. Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Engineering Sustainability*. 2019, no. 172 (3), pp. 119–128.

Надійшла до редакції: 12.04.2025.