



Національний університет
"Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

**XI Всеукраїнський
науково-практичний семінар**

НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ І ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

20 жовтня 2024 року

Збірник матеріалів



Полтава 2025

Використані інформаційні джерела:

1. ДСТУ EN ISO 21912:2022 Тверде відновлювальне паливо.
2. ДСТУ 9220:2023 Паливо тверде мінеральне. Методи визначення летких речовин.
3. ДБН В.1.2-8:2021 Основні вимоги до будівель і споруд.
4. ДСТУ 8755:2019 Викиди в атмосферне повітря. Методика визначення оксиду вуглецю при спалюванні палива.
5. Кучеренко Ю. А., Бабій С. М. Зменшення викидів СО при спалюванні вугілля в побутових котлах. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетика та теплоенергетика. 2021.
6. Tumuluru, J.S. Biomass torrefaction process: Modeling and analysis for CO reduction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
7. Гіжа О. О. Еколізація енергетики: методи зменшення викидів при спалюванні палива. Київ : ІЕЕ НАН Україна, 2019.
8. Кісіль І. І. Теплоенергетика: сучасні методи контролю і зменшення викидів. Львів : Видавництво ЛНУ, 2020.
9. Commission Regulation implementing Directive of the European Parliament and of the Council with regard to eco-design requirements for solid fuel boilers. EN 1185:2015
10. Vakkilainen, E.K. Steam Generation from Biomass: Construction from Boilers. Academic Press, 2016.

УДК 502.3:699.86:69.05

ЕФЕКТИВНА ВІДБУДОВА КРИТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕРОБЛЕНИХ РЕСУРСІВ ТА АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Усенко Ірина, Усенко Дмитро, Петровський Олександр
Полтава, Україна*

Швидке відновлення та модернізація захисних споруд – пріоритет сучасної відбудови. Традиційне будівництво потребує значних енерго- та матеріальних ресурсів і формує відходи, тому актуальним є використання самоущільнюваних бетонів із переробленими полімерними добавками та технології 3D-друку, які підвищують міцність і скорочують час будівництва. У статті розглянуто новітні дослідження про такі рішення, а також розглянуто альтернативні в'язучі (допоміжні цементувальні матеріали, геополімери, біополімери) й цифрові технології для зменшення карбонового сліду та підвищення ефективності [1].

Самоущільнюваний бетон із переробленими полімерними добавками. Самоущільнюваний бетон (SCC) – це високотекучий, несегрегуючий бетон, здатний заповнювати форму та охоплювати арматуру без механічного

ущільнення. Його висока плинність (або текучість) досягається за рахунок використання суперпластифікаторів та дрібнодисперсних наповнювачів. Нормативи ASTM C1611 визначають розтікання бетонної суміші (slump flow) у межах 455–810 мм. SCC дає змогу пришвидшити укладання, зменшити використання вібраторів, покращити поверхню елементів і забезпечити рівномірне ущільнення арматури.

Упровадження перероблених полімерних волокон або гранул підвищує міцність на стиск, стійкість до розтріскування та довговічність бетону, водночас скорочуючи використання природних ресурсів. Додавання полімерних волокон дозволяє досягти приросту міцності на 10-15% порівняно з традиційним бетоном. Оскільки SCC не потребує вібраційного ущільнення, зменшується шум на будівельних майданчиках, підвищується безпека робіт і економляться трудові ресурси [2].

Адитивне виробництво, тобто 3D-друк бетонних конструкцій передбачає пошарове нанесення спеціальних сумішей роботизованими системами. Експериментальні дослідження показують, що правильно підібрані параметри швидкості подачі, товщини шару та тиску забезпечують високу точність друку й уникнення дефектів твердіння. До переваг 3D-друку відносять скорочення часу будівництва, зменшення потреби в опалубці та оптимальне використання матеріалів. За даними світових публікацій, 3D-друк дозволяє звести житловий будинок площею 130 м² за 58 машино-годин, що демонструє високу швидкість технології. Крім того, адитивне будівництво скорочує трудові витрати та відходи, оскільки матеріал подається лише в необхідній кількості

Виробництво портландцементу обумовлює близько 90 % вуглецевого сліду бетону, хоча цемент становить невелику частку його об'єму. Зменшення вмісту цементу шляхом введення допоміжних цементувальних матеріалів (ДЦМ) – леткої золи, мікрокремнезему, гранульованого доменного шлаку чи тонкодисперсного скла – дає можливість суттєво скоротити викиди CO₂. Американський досвід демонструє, що заміщення до 40 % цементу ДЦМ може зберегти 27 млн. тонн CO₂ на рік, що еквівалентно вилученню з доріг 5,9 млн. автомобілів [3].

Інші стратегії включають використання рециклованих агрегатів, підвищення ефективності цементних печей та впровадження технологій уловлювання й мінералізації CO₂ під час твердіння.

Геополімерні зв'язуючі, сформовані шляхом лужної активації алюмосилікатних компонентів, скорочують викиди CO₂ на 40-80% і забезпечують високу міцність та хімічну стійкість. Поєднання з натуральними волокнами та нетрадиційною арматурою (базальт, скловолокно) підвищує тріщиностійкість і теплоізоляцію, полегшуючи інтеграцію цих матеріалів в адитивні технології [4].

Дослідження показують, що виготовлення традиційного бетону потребує близько 350 МДж/м³ та спричиняє викиди ≈ 600 кг CO₂/м³, тоді як самоущільнюваний бетон знижує енергоспоживання до 280 МДж/м³ і викиди до 450 кг/м³, а бетон для 3D-друку – до 200 МДж/м³ і 400 кг/м³. Таким чином,

інноваційні технології забезпечують суттєву економію енергії, скорочення відходів і підвищення міцності за рахунок використання полімерних добавок [5].

3D-друк дає змогу швидко відновлювати інфраструктуру, будуючи складні конструкції без опалубки та скорочуючи трудові ресурси. Українська компанія 3D UTU за 58 машино-годин надрукувала будинок площею 130 м², демонструючи високу швидкість технології. Точне дозування сумішей мінімізує матеріальні втрати, дозволяє створювати складні форми і використовувати низьковуглецеві склади з покращеною теплоізоляцією. Як наслідок, 3D-друк зменшує будівельні відходи та викиди CO₂ й покращує енергоефективність споруд.

Цемент забезпечує до 90% вуглецевого сліду бетону, тому заміщення 40% портландцементу допоміжними матеріалами – леткою золою, шлаком, мікрокремнеземом або меленим склом – здатне заощадити десятки мегатонн CO₂. Наявність таких відходів в Україні відкриває шлях до низьковуглецевих сумішей. Додатково застосування рециклованих агрегатів, підвищення ефективності печей та технологій уловлювання й мінералізації CO₂ посилює зниження карбонового сліду

Геополімери утворюються при активації алюмосилікатних матеріалів (зола-винесення, шлак, метакаолін) і в поєднанні з лужними активаторами забезпечують 40-80% зменшення вуглецевого сліду порівняно з портландцементом. Поєднання таких в'язучих із базальтовою чи скловолоконною арматурою та натуральними волокнами (льон, конопля) дозволяє отримати легкі біокомпозити з високою теплоізоляцією і тріщиностійкістю, які придатні для адитивних технологій та використання місцевої сировини [6].

Розвиток інформаційного моделювання (BIM) і штучного інтелекту дозволяє оптимізувати структуру укриттів, мінімізувати матеріальні витрати та передбачати поведінку конструкцій при екстремальних навантаженнях. Топологічна оптимізація разом із адитивними принтерами забезпечують створення складних геометрій із мінімальною кількістю матеріалу. Впровадження таких технологій потребує оновлення нормативів на 3D-друк і геополімерні суміші, а також програм державної підтримки бізнесу. Пілотні проекти, зокрема діяльність українського стартапу 3D UTU, демонструють реальні перспективи швидкої відбудови

Потрібно розробити стандарти для складу та дозування пластикових добавок (ПЕТ, поліпропілен, поліетилен), використовуючи локальні відходи пакувальних матеріалів і контролюючи плинність та однорідність суміші [7].

Держава й бізнес мають інвестувати у розробку українських принтерів, центри підготовки кадрів і пілотні проекти із зведення укриттів різної складності для оцінки довговічності та екологічної ефективності. Широке використання побічних продуктів промисловості (зола-винесення, шлаки, скляні відходи) як в'язучих і впровадження технологій уловлювання та мінералізації CO₂ дозволить суттєво скоротити вуглецевий слід бетону [8]. Створення цифрових двійників, застосування BIM-моделей та алгоритмів

оптимізації дасть змогу прогнозувати поведінку споруд і мінімізувати використання матеріалів, що підвищить ефективність адитивного виробництва [9]. Потрібно розробити стандарти на 3D-друк і геополімерні суміші, запровадити державні програми підтримки низьковуглецевого будівництва і стимулювати переробку відходів, підвищуючи обізнаність спеціалістів та населення щодо переваг екотехнологій [10].

Аналіз сучасних наукових джерел свідчить, що ресурсоощадні та енергоефективні технології відіграють ключову роль у відновленні й модернізації захисних споруд. Самоущільнюваний бетон із переробленими полімерними волокнами забезпечує підвищення міцності та скорочення відходів. Адитивне виробництво (3D-друк) демонструє високу швидкість будівництва й мінімальні матеріальні витрати. Впровадження низьковуглецевого бетону та допоміжних цементувальних матеріалів значно зменшує викиди CO₂. Синергетичне поєднання перелічених технологій із використанням геополімерів, біоматеріалів та цифрового моделювання дозволить створити екологічно стійкі, економічно вигідні й технологічно досконалі захисні споруди. Пропозиції, сформульовані в статті, можуть бути основою для формування національної стратегії відбудови та модернізації інфраструктури України, спрямованої на досягнення цілей сталого розвитку.

Використані інформаційні джерела:

1. Altuwaim, A., & El Rayes, K. (2018). Minimizing duration and crew work interruptions of repetitive construction projects. *Automation in Construction*, 88, 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.024>
2. Le, T., Lim, S., Buswell, R. A., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., & Thorpe, T. (2012). Design and performance of an extrusion based 3D printing system for cementitious materials. *Automation in Construction*, 21, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.005>
3. Occupational Safety and Health Administration. (2004). Potential hazards in the concrete construction industry. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov>
4. World Business Council for Sustainable Development. (2002). Cement sustainability initiative: Our agenda for action. WBCSD. <https://docs.wbcsd.org>
5. National Ready Mixed Concrete Association. (2018). CIP 37: Self consolidating concrete (SCC). CIP (Concrete in Practice).
6. Esau, R., & Rempher, A. (2022). Low carbon concrete in the Northeastern United States: State procurement guide. Rocky Mountain Institute. <https://rmi.org/low-carbon-concrete-in-the-northeastern-united-states/> rmi.org
7. Hoffman, E. (2025, March 2). How can 3D printing construction offer sustainable housing? Winssolutions. <https://www.winssolutions.org/how-can-3d-printing-construction-offer-sustainable-housing> [winssolutions.org](https://www.winssolutions.org)
8. Усенко, І. С., Усенко, Д. В. (2025). Комплексні ресурсоощадні та енергоефективні технології для відновлення та модернізації захисних

споруд цивільного захисту. *ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2025: колективна монографія* / під ред. О. Е. Ілляш. Полтава : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2025. С. 157–170.

9. Стечишин, М. С. (2016). Самоущільнювальні бетони, армовані дисперсними волокнами (Дисертація кандидата технічних наук). Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна.

10. Гавронська, І. Г., & Ковальський, В. П. (2023). Перспектива розвитку інноваційних технологій 3D друку в будівництві та його особливості. Вінницький національний технічний університет. Отримано з <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42247/20663.pdf>.

УДК 556.52 + 621.22.01

ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РІЧОК ПОЛТАВЩИНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

*Чернецька Ірина
Полтава, Україна*

Енергетична трансформація, що відбувається в Україні, зумовлює необхідність активного пошуку місцевих джерел енергії, які відповідають принципам сталого розвитку. Одним із перспективних напрямів є використання гідроенергетичного потенціалу малих і середніх річок, особливо на рівні територіальних громад. Полтавська область має розгалужену гідрографічну мережу, що створює передумови для розвитку малої гідроенергетики як частини децентралізованої енергетики регіону [1, 2, 6, 8]. Розвиток малих гідроелектростанцій (МГЕС) може стимулювати енергетичну незалежність громад, створення робочих місць та нові інвестиції [7].

Полтавщина розташована в лісостеповій фізико-географічній зоні з рівнинним рельєфом і помірним кліматом. У Полтавській області є одна велика річка – Дніпро, яка протікає в межах області на ділянці довжиною 145 км, але основна частина течії зарегульована водосховищами. Переважна більшість річок належить до басейну р. Дніпро. Найбільшими в регіоні є середні за розміром річки: Псел – 350 км, Ворскла – 226 км, Сула – 213 км, Хорол – 241 км; із менших річок можна виділити: Удай – 129 км, Оржиця – 89, Мерла – 28 км, Оріль – 80 км (протяжність зазначена в межах області). Загалом, територією області протікає 146 річок загальною довжиною 5101 км. Загальна кількість малих річок, водотоків і струмків складає 1633, їх сумарна протяжність – 7905 км. Щільність річкової сітки є більшою на півночі, меншою на південному заході. Річки області живляться переважно талими сніговими водами, що складають 60% об'єму стоку. Більша частина стоку припадає на березень – квітень [11].