



УДК 004.2

THE POTENTIAL OF 3D-PRINTED CONSTRUCTION IN THE POST-WAR REBUILDING OF UKRAINE: ASSESSMENT OF IMPACT ON LANDSCAPE COMPONENTS

ПОТЕНЦІАЛ 3D-ДРУКОВАНОГО БУДІВНИЦТВА У ПІСЛЯВОЄННІЙ ВІДБУДОВІ УКРАЇНИ: ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ЛАНДШАФТНІ КОМПОНЕНТИ

Zelenchuk I. D. / Зеленчук І. Д.*postgraduate student at the department of ecology and life safety / аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності**ORCID: 0009-0008-8517-6617**Uman National University of Horticulture, Uman, Cherkassy region, Institutska st., 1, 20305**Уманський національний університет садівництва, Умань, Черкаська обл, вул. Інститутська, 1, 20305*

Анотація. Розглянуто можливість вирішення задач швидкої відбудови зруйнованих в наслідок бойових будівель та споруд за допомогою використання технології 3D-друкованого будівництва. Проаналізовано технологічні особливості та передовий досвід використання технології 3D-друкованого будівництва в Західній Європі, США та Азії. Досліджено рівень впливу на навколишнє середовище та ландшафтні компоненти за допомогою порівняння рівня впливів від використання різних будівельних технологій. Засвідчено мінімальний вплив використання технології 3D-друкованого будівництва на компоненти ландшафту.

Ключові слова: ландшафт; ландшафтні компоненти (ЛК); технологія 3D-друкованого будівництва; інертні компоненти ландшафту; мобільні компоненти ландшафту; активні компоненти ландшафту; ландшафтні дослідження; адитивні технології (АДТ); будівельно-монтажні роботи (БМР)

Вступ.

3D-друковане будівництво має великий потенціал у післявоєнній відбудові України, особливо з огляду на можливість зниження вартості та пришвидшення відновлення будівель. Однак, важливо також враховувати вплив цього методу на ландшафти та біорізноманіття. Як правило, впровадження та масове застосування нових технологій в будівництві можливе тільки після ґрунтового дослідження ефективності нової технології чи матеріалу, а також оцінки впливу в системі «люди-довкілля». Отож, детальний аналіз та оцінка впливу на довкілля під час використання 3D-друку в будівництві з дослідженням впливу на інертні та живі компоненти ландшафту, стане одним із ключових пунктів комплексної оцінки рівня екологічної безпеки цієї технології. Саме тому, в даній статті розглядається потенціал 3D-друкованого будівництва у контексті



відновлення пошкоджених будівель і споруд та проводиться оцінка впливу такого будівництва на ландшафтні компоненти.

Вихідні передумови.

В результаті тривалої російської агресії на території України була зруйнована ворожими обстрілами значна кількість житлових будівель (як індивідуальних так і багатоквартирних житлових будинків) та будівель цивільної інфраструктури. Тому, першочергово відбувається відновлення житлових будівель та будівель цивільної інфраструктури. Отже, написання даної статті обумовлено необхідністю акцентувати увагу на можливості якнайшвидшої відбудови при цьому не завдавши значної шкоди, навколишньому середовищу, а саме компонентам ландшафту завдяки використанню 3D-друку в будівництві.

В супереч повномасштабній російській агресії, в сучасній будівельній галузі України відбуваються потужні інновацій трансформації, в значній мірі і завдяки появі та розповсюдженні технології 3D-друкованого будівництва [3]. Така інноваційна технологія спочатку здавалася, скоріш науковою фантастикою, однак, швидко стала реальністю і знайшла широке застосування у відбудові зруйнованих житлових та цивільних будівель [4]. Окрім того, є значний потенціал використання технології 3D-друку у відновленні об'єктів енергетики та іншої критичної інфраструктури. Значною перевагою використання 3D-друку в будівництві є можливість створювати складні архітектурні форми, які раніше було складно або неможливо втілити. Ця технологія дозволяє будівлям отримувати неповторний зовнішній вигляд, включаючи структури, які раніше були недосяжні. Архітектори мають можливість втілювати найсміливіші ідеї та створювати нерухомість, що відповідає унікальним потребам замовників.

На разі існують два підходи до будівництва за допомогою 3D-принтерів. За першим принтер розташований на будівельному майданчику і процес зведення відбувається пошаровим нанесенням бетонної суміші відповідно до проекту. А за другим - об'ємні елементи друкуються в заводських умовах і доставляються на майданчик, де монтуються традиційними методами будівництва [11].

Відновлення будівель з використанням 3D-друку також відкриває



можливості для зниження витрат на будівництво за рахунок раціонального використання матеріалів – включаючи вторинні ресурси та відновлювані джерела енергії, що сприятиме відновленні ландшафтної рівноваги та мінімізує порушення взаємодії між інертними та живими компонентами ландшафту. А автоматизація багатьох будівельних процесів та використання роботизованих систем допоможуть мінімізувати кількість задіяного персоналу.

Україна ніколи не залишається осторонь світових інновацій та тенденції. І вже зараз підходить до завершення перший проєкт з будівництва за допомогою 3D-друку громадської будівлі – школи в місті Львові, а саме – корпус для першокласників школи № 23, Вже споруджені стіни за допомогою даної технології всього за 48 годин. Повне завершення робіт очікується незабаром. Отже, вже найближчим часом учні зможуть скористатися новою, швидко побудованою школою. Такі темпи будівництва з використанням технології 3D-друку можуть забезпечити житлом внутрішньо переміщених осіб в найкоротші терміни.

Мета статті. Мета – дослідження та оцінка впливу інноваційної технології 3D-друкованого будівництва на інертні, мобільні та активні (живі) компоненти ландшафту.

Об’єкти дослідження – сучасна інноваційна технологія післявоєнної відбудови України з використанням 3D-друкованого будівництва.

Предмет дослідження – визначення рівня порушення взаємодії інертних та живих компонентів ландшафту під час використання технології 3D-друкованого будівництва для післявоєнної відбудови України.

Виклад основного матеріалу.

Новітні технології в будівництві щоденно розвиваються, а напрямки розвитку нових будівельних технологій мають на меті – скоротити терміни будівництва, знизити затрати на будівництво, зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище, та, як підсумок, мінімізувати порушення зв’язків між інертними та живими компонентами ландшафту.

Ландшафт (нім.: *landschaft*; англ.: *landscape*) – конкретна територія, що



доволі однорідна за своїм походженням та історичним розвитком, нероздільна за зональними і азональними ознаками, має єдину геологічну основу, однотипний рельєф, подібні кліматичні умови, одноманітне поєднання гідротермічних умов, ґрунтів і біоценозів [1]. В процесі розвитку будь-якої наукової дисципліни на певному етапі можуть виникати вирішальні зміни в науковому мисленні, які називаються «парадигми». Отож, в даному контексті поняття геохімії ландшафту повністю може бути охарактеризоване як новий вид дослідження антропогенного впливу на навколишнє середовище. В такому випадку найбільш зручним рівнем вивчення впливу будівництва на ландшафти, є *ландшафтно-геохімічний рівень*, що об'єднує дослідження впливу на два типи послідовних ландшафтів, а саме: *елементарний ландшафт* та *геохімічний ландшафт*.

Елементарний ландшафт – ландшафтно-геохімічна одиниця (геостема) найменшої розмірності – фація [5], якій відповідають такі терміни, як: ландшафтна фація (М.А. Солнцев, 1948), мікро ландшафт (І.В. Ларін, 1926), біогеоценоз (В.М. Сукачов, 1947), елементарна ландшафтно-геохімічна система (М.А. Глазовська, 1988). Хоча термін «елементарний ландшафт» є загальноновживаним у геохімії ландшафтів, але іноді для означення найменшої класифікаційної одиниці ландшафтно-геохімічної системи (ЛГС) можна зустріти термін М.А. Глазовської «елементарна ландшафтно-геохімічна система».

Геохімічний ландшафт – це парагенетична (закономірна) асоціація взаємодіючих елементарних ландшафтів, що пов'язаних між собою міграцією елементів [5].

Сама геохімія ландшафтів як наука вивчає закономірності поширення, акумуляцію і міграцію хімічних елементів в ландшафтах та має розвинуту методологію і значний теоретичний потенціал. Саме тому при виконання даного дослідження по оцінці впливу технології 3D-друкованого будівництва на інертні та живі компоненти ландшафту є доцільним застосування ландшафтознавчо-геохімічних підходів та методів.

Як ми знаємо, в географії усі компоненти ландшафту умовно розділені на три групи з урахуванням їхніх функцій у геосистемі [2]:



1. *Інертні компоненти* – мінеральна частина і рельєф. Це фіксована основа геосистеми.

2. *Мобільні компоненти* – повітряні і водні маси. Вони виконують транзитні і обмінні функції.

3. *Активні компоненти* – біота. Активні компоненти виконують функції саморегуляції, відновлення, стабілізації геосистеми [6].

Отож, розглянемо яким чином впливає на вище класифіковані компоненти ландшафту будівництво будівель і споруд за допомогою 3D-друку, на прикладі найбільш поширеного методу 3D-друкованого будівництва, а саме – *друк методом пошарового екструдуння*. Принцип даного методу полягає в тому, що через робоче сопло (екструдер) будівельного 3D-принтеру проходить швидкотверднуча бетонна суміш з відповідними мінеральними та армуючими добавками. Добавки, що вводяться у таку бетонну суміш, забезпечують усі необхідні експлуатаційні характеристики майбутньої будівлі. Ідею даної технології 3D-друку вперше запропонував професор із Південно-Каліфорнійського університету Бехрох Хошневіс ще в 2012 році. Значного прогресу у застосуванні даного методу пошарового екструдуння в 3D-друці досягла компанія Win Sun, яка в 2014 році вперше виконала масове будівництво бюджетного житла з використанням технології 3D-друку. У 2014 р. Нідерландський архітектор Яньяап Рейзенаарс збудував за допомогою технології 3D-друку будівлю дуже незвичної конфігурації і назвав її Landscape House (безкінечний ландшафт), яка має вигляд стрічки, (рисунок 1). У цій будівлі архітекторові вдалося реалізувати дві паралельні поверхні споруди, що виявилися згорнутими у нескінченні стрічки де кожна із створених поверхонь виступала, то в якості стелі, то підлоги [7]. Компанія Apis Cor (США) в 2019 р. завершила будівництво в м. Дубаї найбільшої у світі будівлі, за допомогою технології 3D-друку, що надрукована безпосередньо на будівельному майданчику.

Розглянемо як саме проходить процес будівництва будівель і споруд за допомогою 3D-друку безпосередньо на будівельному майданчику та який вплив



спричиняє таке будівництво на ландшафтні компоненти.



Рисунок 1 - Будівля Landscape House (безкінечний ландшафт) у формі стрічки

Отже, 3D-друк будівель і споруд здійснюється за допомогою 3D-принтера, що має форму крана-маніпулятора, що встановлюється безпосередньо ділянці будівництва. Такий принтер керується за допомогою інтегрованого комп'ютерного блоку управління на якому встановлене спеціальне програмне забезпечення, яке передає принтеру кінцеві дані про що усі необхідні параметри будівлі. Після виконання підготовчих налаштувань та внесення відповідних параметрів запускається принтер, і на будівельному майданчику роботизований кран-маніпулятор починає формувати будівлю відповідно до проекту, витісняючи через екструдер швидкотверднучу бетонну суміш. Кожен наступний шар якої лягає на попередній, створюючи вертикальну конструкцію, (рисунок 2). При цьому нижні шари бетону ущільнюються, тим самим формуючи міцність всієї конструкції [8]. Одним із найскладніших та найвідповідальніших етапів в такому будівництві є процес 3D-друку стін.

Для друку будівель та споруд в основному використовуються бетонні суміші. Програмне забезпечення надсилає команди пристрою, вказуючи, де і як надрукувати конструкцію. Починається процес накладання суміші шарами відповідно до проекту, тим самим формуючи конструкцію. Екструдер витісняє швидкозатвердіваючу бетонну суміш з різноманітними добавками.

Кожен наступний шар розміщується на попередній, створюючи вертикальну структуру. Нижні шари бетону в результаті ущільнюються, збільшуючи їх здатність витримувати вагу надбудованих шарів, тим самим формуючи міцність всієї конструкції [8].



Отже, технологія 3D-друкованого будівництва відноситься до адитивних технологій (АДТ) в якій створення різних складних тривимірних форм відбувається шляхом накладання послідовних шарів вибраного матеріалу (розчину) відповідно до запроєктованої моделі.



Рисунок 2 - Стіни початкової школи у м. Львів, зведені за допомогою технології 3D-друкованого будівництва у 2023р.

В АД технологіях не застосовуються ріжучі інструменти, охолоджуючі рідини та інші допоміжні ресурси. В світовій практиці застосовується два методи досліджень впливу роботи новітніх АД технологій на навколишнє середовище, саме – метод оцінки життєвого циклу, так званий LCA [9] метод та оцінка впливу на навколишнє природне середовище (ОВНС).

Оцінка життєвого циклу / life-cycle analysis (LCA) – це загальна система дослідження, що визначає впливи на навколишнє середовище впродовж всього життєвого циклу продукту;

Оцінка впливу на навколишнє середовище / environmental impact assessment (EIA) – це метод оцінки ймовірних наслідків діяльності впливу на довкілля та здоров'я людей на етапі проектування такої діяльності.



Однак в обидвох методів є недолік: вони не завжди можуть безпосередньо виміряти вплив на ландшафти а іноді і його компоненти. За часту фактори впливу важко перетворити на числові значення чи кількісні величини, щоб порівняти їх і отримати уявлення на якому кількісному рівні вони впливають на компоненти ландшафту. Саме для таких випадків водиться індекс порушення зав'язків між ландшафтними компонентами ($I_{пр}$) та класифікується по загальній класифікації і позначається як «НИЗЬКИЙ», «ПОМІРНИЙ» і «ЗНАЧНИЙ».

Одним із основних завдань даного дослідження – є визначення рівня порушення зав'язків між компонентами ландшафту під час будівництва будівель з використанням АД технологій, а саме – 3D-друкованого будівництва.

За рівнем здійснення впливу людини на геосистеми розрізняють природні, природно-антропогенні й антропогенні ландшафти [10].

До прямого впливу дії класичних (традиційних) будівельних технологій (КБТ), на ландшафти відносять – порушення ґрунтового покриву та змін зовнішнього вигляду територій, скорочення площ сільськогосподарських і лісових ділянок, порушення гідрологічних та гідрогеологічних умов, знищення рослинного покриву територій, міграції тварин тощо [10]. Це такі види будівельної діяльності як, будівництво житлових, промислових та адміністративних будівель, прокладання інженерних мереж тощо.

До непрямого впливу дії традиційних будівельних технологій, на ландшафти відносять – погіршення стану й родючості земель, умов зростання рослин та проживання тварин; зміна стану та режиму ґрунтових вод у зв'язку з осушенням водойм, насідання пилу з хімічних викидів у атмосферу [10]. Непрямий вплив з часом може призвести до поступової деградації природних ландшафтів.

В рамках даного дослідження було виконано порівняння впливу на ландшафтні компоненти від використання в будівництві двох технологій, а саме – традиційної (класичної) технології будівництва будівель та споруд та технології 3D-друкованого будівництва. Результати порівняння наведено в таблиці 1.



Таблиця 1 - Порівняльна таблиця впливу на ландшафтні компоненти від використання різних будівельних технологій

| Ландшафтні компоненти (ЛК) | Вид впливу | | Тривалість дії впливу | | Індекс рівня порушення зав'язків між ЛК, I_{np}^* |
|---------------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| | Класична будівельна технологія (КБТ) | 3D-друковане будівництво | Класична будівельна технологія (КБТ) | 3D-друковане будівництво | |
| Інертні компоненти | | | | | |
| Ґрунт та рельєф | Механічне порушення цілісності рівноваги складеного мікрорельєфу при виконанні земляних робіт | | Тимчасовий, вплив на період виконання БМР | | $I_{гпП}$ |
| | Відходи будівництва | Відходи відсутні | На період виконання БМР | Не впливає | |
| Мобільні компоненти | | | | | |
| Повітряне середовище | Викиди відпрацьованих газів від роботи будівельної техніки та механізмів | Викиди відсутні | На період виконання БМР | Не впливає | $I_{гпН}$ |
| Водне середовище | Витрата водних ресурсів на виробничо-технічні потреби | Викиди відсутні | На період виконання БМР | Не впливає | $I_{гпН}$ |
| Активні компоненти | | | | | |
| Рослинний і тваринний світ | Порушення рослинного покриву на етапі підготовки будівельного майданчика | | Тимчасовий, вплив на період виконання БМР | | $I_{гпП}$ |
| Навколишнє соціальне середовище | Шумовий вплив | Шум відсутній | На період виконання БМР | Не впливає | $I_{гпП}$ |

* – де: $I_{гпН}$ – низький індекс порушення зав'язків;

$I_{гпП}$ – помірний індекс порушення зав'язків.



Під час використання технології 3D-друкованого будівництва відсутні викиди відпрацьованих газів, відсутній шумовий вплив та вплив на водне середовище. Технологія 3D-друкованого будівництва є не тільки безвідходною технологією, але також може використовувати матеріали вторинної переробки (ресайклінгу). Основний компонент для 3D-друку можна використовувати целюлозу – стійку і практично невичерпну сировину, що може підтримати потенціал для задоволення зростаючого попиту на екологічно чисті продукти будівництва.

Висновки.

Підсумовуючи наведене, можна стверджувати, сучасна технологія 3D-друкованого будівництва, а саме будівництво житлових, громадських та інших будівель і споруд методом використання 3D-принтера-маніпулятора безпосередньо на будівельному майданчику є екологічно-безпечною та природоорієнтованою технологією. Використання даної технології будівництва – дозволить швидкими темпами відбудувати зруйновані війною житлові, громадські, а особливо навчальні та лікувальні заклади з мінімальним впливом на навколишнє природне середовище.

В результаті дослідження було проведено оцінку впливу та визначено рівень порушення зав'язків взаємодії ландшафтних компонентів в результаті використання запропонованої сучасної технологій будівництва. Як показав аналіз отриманих результатів вплив від такої технології на інертні, мобільні та активні компоненти ландшафту є мінімальним, отже, запропонована в статті сучасна технологія 3D-друкованого будівництва є екологічно безпечною та економічно доцільною для відбудови житлового та громадського сектору післявоєнної України.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці програми з забезпечення житлом внутрішньо переміщених осіб та програми з розвитку житлового чи цивільного будівництва України.



Література

1. Жарінов В. І., Довгань С. В. Агроєкологія: термінологічний та довідковий матеріал: Навчальний посібник. – Київ: Аграрна освіта, 2009. – 328с.
2. Рожков А. О. Ландшафтне рослинництво: навчальний посібник/А. О. Рожков, Є. М. Огурцов, Ю. В. Белінський. – Харків: ХНАУ, 2020. – 255 с.
3. Василич А. В., Ковальський В. П. Будівництво завтрашнього дня вже сьогодні. 3D-друк у будівництві. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. Матеріали Міжнар. Наук. Конф. (23–25 вересня, 2021). – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т., 2021. – 140 с.
4. Використання 3D-друку у будівництві: Можливості та перспективи [Електронний ресурс]/Інтернет-видання «Полтавщина» – Режим доступу: <https://blog.poltava.to/atlant/16536/>
5. Сорокіна Л. Ю., Рога І. В. Природничо-географічні дослідження: Гопросторовий аналіз антропогенних змін ландшафтно-геохімічних умов території (теоретичний аспект) / Український географічний журнал - 2011, № 1. – С.С.38-43.
6. Сонько С. П., Заленчук І. Д. Використання новітніх технологій у будівництві для зменшення шкідливого впливу на інертні компоненти ландшафту/Проблеми безперервної географічної освіти і картографії - 2022, №35. – С.С.32-38. DOI: 10.26565/2075-1893-2022-35-04
7. Іванов-Костецький С., Гуменник І., Воронкова І. Шляхи застосування технології 3D-друку у створенні сучасних об'єктів архітектури / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура» № 1 (7), 2022. – С.С.54-64.
8. Комишев Д. Г. Інноваційні технології в будівництві: 3D-друк будівель, мобільгі програми та штучний інтелект / Bulletin National University of Water and Environmental Engineering, 2024, № 104, p. 22-43.
9. Shuaib M., Haleem A., Kumar S., Javaid M. Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study / Sustainable Operations and Computers, Volume 2, 2021, P.P. 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.04.001>



10. Зеленчук І. Д., Сосько С. П., Дослідження ступеню антропогенного навантаження на ландшафт в процесі розбудови індустріальних парків України/Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. – С.С.145-148.

Abstract. *The possibility of solving the problems of rapid reconstruction of buildings and structures destroyed as a result of war; using the technology of 3D-printed construction was considered. The technological features and best practices of using 3D-printed construction technology in Western Europe, the USA, and Asia were analyzed. The level of impact on the environment and landscape components was studied by comparing the level of impacts from the use of various construction technologies. The minimal impact of the use of 3D-printed construction technology on the landscape components has been proven.*

Keywords: *landscape; landscape components; 3D-printed construction technology; inert components of landscape; mobile components of landscape; active components of landscape; landscape studies; additive technologies; construction and assembly works*

Науковий керівник: д-р геогр. наук, проф. Сосько С.П.

Стаття відправлена 12.09.2024р.

© Зеленчук І.Д.