

УДК 72.021.23:681:6.3

DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/78-2-18>**Костянтин ТРЕГУБОВ,***orcid.org/0000-0001-8231-9880*

кандидат археології, доцент,

доцент кафедри образотворчого та декоративно-прикладного мистецтва

Навчально-наукового інституту мистецтв

Державного закладу «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

(Полтава, Україна) *trehubov@ukr.net*

3D ДРУК БЕТОННОЮ СУМІШШЮ В АРХІТЕКТУРІ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ДЕКОРАТИВНОМУ ОЗДОБЛЕННІ

Розглянуто аспекти та особливості технології 3D друку бетонною сумішшю, що включає підготовку матеріалу, процес нанесення та методи контролю якості. Зокрема, описано характеристики різних типів бетонних сумішей, що використовуються для 3D друку, а також їхні фізико-механічні властивості. Цей всебічний аналіз охоплює формулювання бетонних сумішей, включаючи вибір типів цементу, заповнювачів та різних добавок, що покращують властивості суміші, такі як плинність, час твердіння та довговічність.

Проведено аналіз можливостей використання 3D друку в архітектурі будівель. Розглянуто приклади успішно реалізованих проектів, де застосовувалася ця технологія. Особливу увагу приділено швидкості зведення будівель, зниженню витрат на матеріали та робочу силу, а також екологічним перевагам. Ці проекти демонструють практичні переваги 3D друку в будівництві, підкреслюючи його здатність швидко виробляти складні структури з високою точністю, тим самим скорочуючи загальні терміни та витрати на проекти. Крім того, наголошено на внеску технології у стійкість через зменшення відходів матеріалів і використання екологічно чистих компонентів.

Досліджено декоративні аспекти 3D друку бетонною сумішшю. Розглянуто потенціал створення складних геометричних форм, текстур та орнаментів, які важко або неможливо досягти традиційними методами. Завдяки універсальності 3D друку можлива кастомізація архітектурних елементів, що дозволяє дизайнерам створювати унікальні та складні дизайни, які підвищують естетичну привабливість будівель. Це включає створення складних фасадів, детальних колон, орнаментованих балюстрад та кастомізованих інтер'єрних панелей.

Описано приклади застосування 3D друків декоративних елементів в інтер'єрах та екстер'єрах будівель. Ці приклади показують, як 3D друк можна використовувати для виготовлення широкого спектра декоративних елементів, від складних настінних панелей до унікальних меблів та скульптурних інсталяцій. Здатність інтегрувати складні візерунки та текстури безпосередньо в процес будівництва дозволяє впроваджувати інноваційні дизайнерські рішення, що поєднують функціональність із художнім вираженням.

Таким чином, впровадження технології 3D друку бетонною сумішшю в архітектурі та будівництві є значним кроком вперед у галузі. Це пропонує безпрецедентні можливості для інновацій у дизайні та будівництві, сприяючи ефективності, стійкості та творчій свободі. Здатність технології оптимізувати процес будівництва, знизити витрати та виробляти екологічно чисті конструкції робить її цінним інструментом для сучасних архітекторів та будівельників.

Ключові слова: 3D друк, бетонна суміш, архітектура, будівництво, декоративне оздоблення, інноваційні технології, дизайн.

Kostiantyn TREHUBOV,*orcid.org/0000-0001-8231-9880*

PhD in Architecture, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Fine and Decorative and Applied Arts

Educational and Scientific Institute of Arts of Luhansk Taras Shevchenko National University

(Poltava, Ukraine) *trehubov@ukr.net*

3D PRINTING WITH CONCRETE MIXTURES IN BUILDING ARCHITECTURE AND DECORATIVE FINISHING

The examined aspects and features of 3D printing technology with concrete mixtures include material preparation, application processes, and quality control methods. Specifically, the characteristics of different types of concrete mixtures used for 3D printing and their physical and mechanical properties are discussed. This comprehensive analysis covers the formulation of concrete mixtures, including the selection of cement types, aggregates, and various additives that enhance the mixture's properties such as flowability, setting time, and durability.

An analysis of the possibilities of using 3D printing in building architecture has been conducted. Examples of successfully implemented projects where this technology has been applied are considered. Particular attention is paid to the speed of building construction, reduction in material and labor costs, and environmental benefits. These projects demonstrate the practical advantages of 3D printing in construction, highlighting its ability to rapidly produce complex structures with high precision, thereby reducing overall project timelines and costs. Moreover, the technology's contribution to sustainability through the reduction of material waste and the use of eco-friendly components is emphasized.

The decorative aspects of 3D printing with concrete mixtures are explored in detail. The potential for creating complex geometric shapes, textures, and ornaments that are difficult or impossible to achieve with traditional methods is discussed. The versatility of 3D printing allows for the customization of architectural elements, enabling designers to produce unique and intricate designs that enhance the aesthetic appeal of buildings. This includes the creation of elaborate facades, detailed columns, ornate balustrades, and customized interior panels.

Examples of the application of 3D-printed decorative elements in the interiors and exteriors of buildings are described. These examples showcase how 3D printing can be used to produce a wide range of decorative elements, from intricate wall panels to bespoke furniture and sculptural installations. The ability to integrate complex patterns and textures directly into the construction process allows for innovative design solutions that blend functionality with artistic expression.

In summary, the adoption of 3D printing technology with concrete mixtures in architecture and construction represents a significant advancement in the industry. It offers unparalleled opportunities for innovation in design and construction, promoting efficiency, sustainability, and creative freedom. The technology's ability to streamline the construction process, reduce costs, and produce environmentally friendly structures makes it a valuable tool for modern architects and builders.

Key words: 3D printing, concrete mixture, architecture, construction, decorative finishing, innovative technologies, design.

Актуальність теми. Сучасні технології 3D друку набули значного поширення в різних галузях промисловості, включаючи будівництво та архітектуру. У статті розглянуто інноваційне використання 3D друку бетонною сумішшю для зведення будівель та створення декоративних елементів.

Аналіз досліджень. Дослідженням даної проблематики займалися такі науковці як: Кондратюк С. Я., Петренко О. В., Шевченко М. П., Іваненко А. Г., Гриценко В. В., та інші.

Метою даної статті «3D друк бетонною сумішшю в архітектурі будівель та їх декоративному оздобленні» є всебічне дослідження та аналіз сучасних технологій 3D друку з використанням бетонної суміші, з акцентом на їх застосування в будівництві та архітектурі. Зокрема, стаття має на меті:

Детально розглянути процес підготовки та нанесення бетонних сумішей, а також методи контролю якості під час 3D друку.

Дослідити переваги та виклики використання 3D друку для зведення будівель, оцінити економічну доцільність, екологічні аспекти та вплив на будівельну індустрію.

Проаналізувати потенціал 3D друку для створення декоративних елементів у архітектурі, зокрема складних геометричних форм, текстур та орнаментів.

Виявити напрямки для подальших досліджень та вдосконалення технології, такі як покращення матеріалів, підвищення точності друку та розширення сфер застосування.

Виклад основного матеріалу. Розглядаючи процедуру друку бетонною сумішшю треба зазна-

чити що принцип побудови виробу відображає загальну характеристику друку на FDM (Fused Deposition Modeling) 3D принтері.

Процес починається з ретельного підбору та підготовки спеціальної бетонної суміші. Ця суміш повинна мати певні властивості для успішного використання в 3D друку.

До складу цементної суміші входять:

– Цемент: Найчастіше використовують портландцемент.

– Пісок: Дрібнозернистий, розмір зерна до 2 мм, часто кварцовий.

– Дрібний гравій: Фракція 4–8 мм.

– Добавки: Пластифікатори (наприклад, Superplasticizer Sika ViscoCrete), прискорювачі твердіння, такі, як SikaRapid та стабілізатори (Володимиров, 2024: 8).

Суміш ретельно перемішується у спеціальних змішувачах, таких як планетарні змішувачі, такі, які виготовляє компанія Eirich, до досягнення однорідної консистенції.

Архітектори та інженери створюють цифрову модель будівлі або її частини за допомогою програмного забезпечення для тривимірного моделювання, такого як AutoCAD або Revit. Модель деталізується до найдрібніших елементів, враховуючи всі архітектурні та конструкційні особливості. Потім модель розбивається на окремі шари за допомогою спеціальних програм, наприклад, Cura або Slic3r, які генерують G-код для принтера.

Наступно стадією є підготовка 3D принтера та майданчику із супутнім обладнанням.

3D принтер налаштовується відповідно до вимог проекту. Основні компоненти принтера включають:

– Механічну раму: Наприклад, принтери з порталною конструкцією, такі, як Winsun або Aris Cor.

– Екструзійну головку: Пристрій, через який подається бетонна суміш, часто виготовлений з високоміцних матеріалів, таких як сталь.

– Систему подачі матеріалу: Наприклад, гвинтові насоси або поршневі насоси, що забезпечують безперервну подачу суміші до екструзійної головки (Орисенко, 2022: 151).

Важливим аспектом роботи є програмне забезпечення принтера яке налаштовується на параметри друку, такі як швидкість подачі матеріалу (від 10 до 50 мм/сек), товщина шару (зазвичай 5–10 мм) та послідовність друку.

Наступною важливою складовою є якість та контроль за екструзією бетонної суміші.

Суміш подається до екструзійної головки, яка наносить її пошарово відповідно до цифрової моделі.

Екструзійна головка переміщується по трьох осях (X, Y, Z) за допомогою системи лінійних приводів або гвинтових механізмів, що дозволяє створювати складні тривимірні структури.

Наприклад, принтер Aris Cor може друкувати стіни будівлі висотою до 3,2 метра.

Будівля чи декоративний елемент утворюється за рахунок формування шарів, нарощуючи масу поступово шар за шаром.

Кожен новий шар наноситься на попередній з дотриманням чіткої геометрії. Бетонна суміш повинна швидко тверднути, щоб уникнути деформацій та забезпечити стабільність конструкції. Для цього використовуються спеціальні добавки, такі як SikaRapid, що прискорюють процес твердіння.

Контролюється товщина шару, зазвичай 10 мм, щоб забезпечити міцність і цілісність конструкції.

Під час друку здійснюється постійний контроль якості нанесення суміші. Використовуються датчики та камери для моніторингу процесу в реальному часі.

Наприклад, лазерні сканери можуть перевіряти точність нанесення шарів. При виявленні відхилень від заданих параметрів проводиться корекція процесу, щоб забезпечити точність та відповідність проекту.

Використовуються програмні алгоритми для автоматичного виправлення помилок.

Після завершення друку конструкція залишається для твердіння протягом визначеного часу. Твердіння може займати від кількох годин до кількох днів, залежно від складу суміші та умов навколишнього середовища. Наприклад, під наві-

сом або в спеціально обладнаних приміщеннях з контролем вологості та температури. Після повного твердіння можливе проведення додаткової обробки поверхні:

– Шліфування: Для досягнення гладкої поверхні, використовуються шліфувальні машини, такі як компанії Husqvarna.

– Нанесення захисних покриттів: Наприклад, поліуретанові або епоксидні покриття для захисту від впливу навколишнього середовища.

Переваги при формуванні художніх та декоративних елементів оздоблення

Технологія 3D друку бетонною сумішшю відкриває нові можливості для створення художніх та декоративних елементів оздоблення, що були важко досяжними традиційними методами.

3D друк дозволяє створювати надзвичайно складні та детальні форми, які важко або навіть неможливо реалізувати ручними методами або з використанням стандартних будівельних технологій. Наприклад, декоративні фасади з багатшаровими візерунками, тонкими орнаментами та геометричними структурами можуть бути надруковані з високою точністю.

До прикладів можна віднести декоративні панелі для фасадів будівель з абстрактними візерунками або репліками історичних архітектурних деталей.

3D друк дозволяє легко кастомізувати та індивідуалізувати кожен елемент оздоблення. Це означає, що архітектори та дизайнери можуть створювати унікальні елементи для кожного проекту без необхідності в дорогих формах або інструментах.

Наприклад індивідуально спроектовані декоративні елементи для внутрішнього оздоблення, такі як колони, карнизи, мозаїки, фрески, що відповідають специфічним вимогам клієнта.

Технологія 3D друку дозволяє точно відтворювати природні форми та текстури. Це може бути особливо корисно для створення архітектурних елементів, які повинні гармонійно вписуватися в природне середовище або імітувати природні матеріали (Іванов-Костецький, 2022: 55).

Це можуть бути, стіни або фасади, що імітують текстуру дерева, каменю або інших природних матеріалів, використовуючи складні алгоритми генерації текстур.

3D друк значно скорочує час виготовлення складних декоративних елементів порівняно з традиційними методами. Це дозволяє зменшити час на виконання проекту та швидко реагувати на зміни в дизайні.

Швидке виготовлення складних скульптурних елементів для ландшафтного дизайну або вну-

трішнього оздоблення, що може займати кілька днів замість тижнів або місяців.

Завдяки 3D друку можна знизити витрати на виготовлення декоративних елементів, оскільки відсутня потреба у використанні форм, великої кількості робочої сили та зменшуються матеріальні втрати.

Прикладом можна представити виготовлення декоративних панелей або колон з мінімальними матеріальними відходами та без необхідності у створенні дорогих форм.

3D друк може бути ефективно використаний для реставрації історичних будівель та відновлення втрачених або пошкоджених декоративних елементів. Це дозволяє точно відтворити оригінальні деталі з високою точністю.

Це може бути відновлення втрачених архітектурних деталей, таких як фризи, капітелі колон або скульптурні елементи, з використанням 3D сканування та друку.

Тут друк іде паралельно із технологією сканування об'єкту, що дає змогу найбільш точно провести процедуру реставрації втрачених декоративних елементів та частин.

Також до переваг даної технології можна віднести її екологічність. Використання 3D друку може сприяти зменшенню матеріальних відходів та зниженню впливу на навколишнє середовище, оскільки друк виконується з точною кількістю матеріалу, необхідного для виготовлення елемента.

Виробництво декоративних елементів з екологічно чистих або перероблених матеріалів, зменшуючи кількість відходів і вплив на довкілля.

Технологія 3D друку бетонною сумішшю надає безпрецедентні можливості для архітекторів і дизайнерів у створенні унікальних, складних та високо деталізованих декоративних елементів оздоблення. Вона поєднує в собі швидкість, ефективність та економічність, відкриваючи нові горизонти в архітектурі та дизайні.

Розглядаючи дану технологію загалом можна сформулювати такі ключові особливості, як переваги та недоліки даної технології.

До переваг можна віднести:

– Швидкість будівництва: 3D принтери можуть значно скоротити час зведення будівель. Наприклад, компанія Aris Cog надрукувала невеликий будинок за 24 години.

– Зменшення витрат: Використання 3D друку може знизити витрати на матеріали та робочу силу до 50%.

– Екологічність: Технологія є екологічно дружньою, оскільки дозволяє мінімізувати відходи та використання ресурсів.

– Гнучкість дизайну: Можливість створення складних геометричних форм та декоративних елементів, які важко реалізувати традиційними методами. Наприклад, надруковані фасадні панелі з візерунками.

До недоліків можна віднести:

– Висока вартість обладнання: Первісна вартість 3D принтерів для друку бетонною сумішшю є досить високою.

– Обмеження розміру: Існують обмеження на розміри конструкцій, які можна друкувати.

– Потреба в спеціалізованих матеріалах: Використання спеціальних сумішей та добавок може ускладнити процес і збільшити витрати.

Висновки. Технологія 3D друку бетонною сумішшю представляє собою інноваційний та перспективний підхід до архітектурного оздоблення, який здатен радикально змінити традиційні методи створення декоративних елементів. Основні переваги цієї технології, такі як швидкість, економічність, гнучкість дизайну та екологічність, відкривають нові можливості для архітекторів і дизайнерів у створенні унікальних та високодеталізованих декоративних форм.

Використання 3D друку в дизайні дозволяє значно скоротити час виготовлення складних декоративних елементів, зменшити витрати на матеріали та робочу силу, а також мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Ця технологія є особливо корисною для створення архітектурних деталей з високою деталізацією, складними геометричними формами та природними текстурами, які важко або навіть неможливо реалізувати за допомогою традиційних методів.

У декоративній пластиці 3D друк бетонною сумішшю дає змогу архітекторам і дизайнерам створювати унікальні елементи з високою деталізацією. Це відкриває нові горизонти в дизайні інтер'єрів та екстер'єрів, дозволяючи створювати індивідуальні декоративні рішення для кожного проекту. Здатність відтворювати природні текстури, кастомізувати кожен проект та швидко реагувати на зміни дизайну робить цю технологію незамінною для сучасного архітектурного та декоративного оздоблення.

Технологія 3D друку бетонною сумішшю не лише сприяє створенню функціональних будівель, але й надає нові інструменти для художнього вираження, що дозволяє реалізовувати найсміливіші дизайнерські ідеї та підходи. Вона поєднує в собі швидкість, ефективність та економічність, забезпечуючи новий рівень якості та естетики в архітектурі та дизайні.

Ця стаття надає різноплановий огляд технології 3D друку бетонною сумішшю, демонструючи її потенціал для революційних змін у будівництві та архітектурі, а також в естетичному оформленні будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 3D printing using concrete extrusion / R. Buswell et al. A roadmap for research. Cement and Concrete Research. 2018. P. 37–42.
2. Zareiyan B., Khoshnevis B. Effects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete. Automation in Construction. 2017. No. 83. P. 212–221.
3. Орищенко О., Шокало А. Пристрій для укладання бетонної суміші при 3d-друку будівельних конструкцій. Тези 74-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2022. № 1. С. 150–151.
4. Володимиров А. Визначення фізико-механічних характеристик та особливостей роботи 3d зразків. Матеріали XVII Всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти «Сталий розвиток міст: поствоєнний період». 2024. Частина III. С. 8–9.
5. Бейнер Н., Бейнер П. Прискорення поновлення обсягу житлового фонду з використанням технології 3d друку. Тиждень науки-2023 Факультет будівництва, архітектури та дизайну Збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. 2023. С. 28–30. URL: https://zr.edu.ua/uploads/dept_s&r/2023/conf/4.1/TN-2023-FBAD.pdf (дата звернення: 06.08.2024).
6. Иванов-Костецкий С., Гуменник І., Воронкова І. Шляхи застосування технологій 3d-друку у створенні сучасних об'єктів архітектури. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура». 2022. № 1. С. 54–63.
7. Бондаренко В. Г. Переваги, недоліки і матеріали 3d-друку В. Г. Бондаренко, К. В. Решетняк Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій – 2021: матеріали XXI Всеукр. Наук.-техн. Конф. Молодих вчених, аспірантів та студентів, Одеса, 22–23 квіт. 2021 р. Одес. Нац. Акад. Харч. Технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2021. – С. 189–190. – Бібліогр.: – 2 назв.

REFERENCES

1. Buswell R. Leal de Silva W. Jones S. Dirrenberger J. (2018). 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. Cement and Concrete Research, 112, 37-49.
2. Zareiyan, B., & Khoshnevis, B. (2017). Effects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete. Automation in Construction, 83, 212-221.
3. Orysenko, O. V., & Shokalo, A. V. (2022). Prystrii dlia ukladannia betonnoi sumishi pry 3D-druku budivelnikh konstrukttsii [Device for laying concrete mixture in 3D printing of building structures]. Proceedings of the 74th Scientific Conference of Professors, Teachers, Researchers, Graduate Students, and Students of the National University «Yuriy Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava, April 25–May 21, 2022). Poltava: National University named after Yuriy Kondratyuk. Volume 1, pp. 150–151.[in Ukrainian]
4. Volodymyrov, A. (2024). Pryskorennia ponovlennia obsiahu zhytlovoho FONDU Z vykorystanniam tekhnolohii 3D DRUKU [Determination of physical-mechanical characteristics and features of 3DCP samples]. Materials of the XVII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Higher Education Applicants «Sustainable Urban Development: Post-War Period.» Part III, pp. 8–9. [in Ukrainian]
5. Beiner, N., & Beiner, P. (2023). Pryskorennia ponovlennia obsiahu zhytlovoho fondu z vykorystanniam tekhnolohii 3d druku. [Accelerating the Renewal of the Housing Stock Using 3D Printing Technology]. Science Week 2023. Faculty of Construction, Architecture, and Design. Collection of Abstracts of the Annual Scientific and Practical Conference among Students, Teachers, Scientists, Young Scientists, and Graduate Students. pp. 28–30. URL: Science Week - Faculty of Construction, Architecture, and Design (Accessed: 06.08.2024).[in Ukrainian]
6. Ivanov-Kostetskyi, S., Humennyk, I., & Voronkova, I. (2022). Shliakhy zastosuvannia tekhnolohii 3d-druku u stvorenni suchasnykh obiektiv arkhitektury [Application of 3D Printing Technologies in Creating Modern Architectural Objects.] Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic». Series: «Architecture.» No. 1, pp. 54–63.[in Ukrainian]
7. Bondarenko, V. G., & Reshetnyak, K. V. (2021). Perevahy, nedoliky i materialy 3d-druku . [Advantages, Disadvantages, and Materials of 3D Printing]. State, Achievements, and Prospects of Information Systems and Technologies – 2021: Materials of the XXI All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Graduate Students, and Students, Odessa, April 22–23,. Odessa National Academy of Food Technologies, 2021, pp. 189–190. Bibliography: 2 titles.[in Ukrainian]