

4. Шатов С. В., Маценко О. М., Скрипка Є. О., Даниленко І. О. Еколого-економічні переваги переходу на 3d-друк будівельних об'єктів у руслі Industry 4.0. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 1. С. 124–132.

УДК 691.00

ПРОБЛЕМИ 3D-ДРУКУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З БЕТОНУ

Автор – Віталій Гусєв¹, асп.

Науковий керівник – д. т. н., професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Тетяна Нікіфорова²

¹ husievvitalii@gmail.com, ² nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

В будівельній галузі все більш великого поширення набуває використання адитивного виробництва [1]. На сьогоднішній час накопичений значний потенціал для удосконалення сучасних методів будівництва, а одним з перспективних напрямків, який на даний момент досліджується як в наукових колах, так і реалізується на практиці, є адитивне виробництво бетону (АМоС). Незважаючи на велику кількість дослідників і приватних підприємств, які активно займаються цією технологією, АМоС все ще перебуває на початковому етапі свого розвитку [2].

Технології 3D-друку дозволяють спроектувати геометрію майбутнього виробу за допомогою САD-систем незалежно від самого процесу планування та реалізації на будівельному майданчику, але на практиці досягти цього практично неможливо [3].

Методи 3D-друку бетоном (3DCP) на основі пошарового наплавлення (FDM) для АМоС мають свої обмеження в залежності від специфічних геометричних характеристик майбутнього виробу. Крім того, слід зазначити, що фізико-технологічні властивості самого друкованого виробу як на етапі прототипування, так і у серійному виробництві дуже залежать від характеристик реалізації самого процесу 3D-друку.

Мета дослідження полягає в тому, щоб сформулювати концепцію створення файлів *.STL, де технологічно описується сам процес друку, які можна було б автоматично генерувати зі створеної геометрії об'єкта методами САПР, з найменшими похибками і помилками сітки поверхні виробу та втручанням спеціалістів з інших прикладних галузей. Тобто так, як зараз генерується файл друку із програми обробки тексту, щоб

надрукувати звичайний документ на папері. Але на даний час це реалізувати на практиці дуже складно.

Проблеми виникають як наслідок тісної взаємозалежності безпосередньо 3D-моделювання, матеріалу, з якого друкується виріб, технологічного процесу реалізації та характеристик кінцевого виробу (рис.). Це зумовлено декількома важливими обставинами.

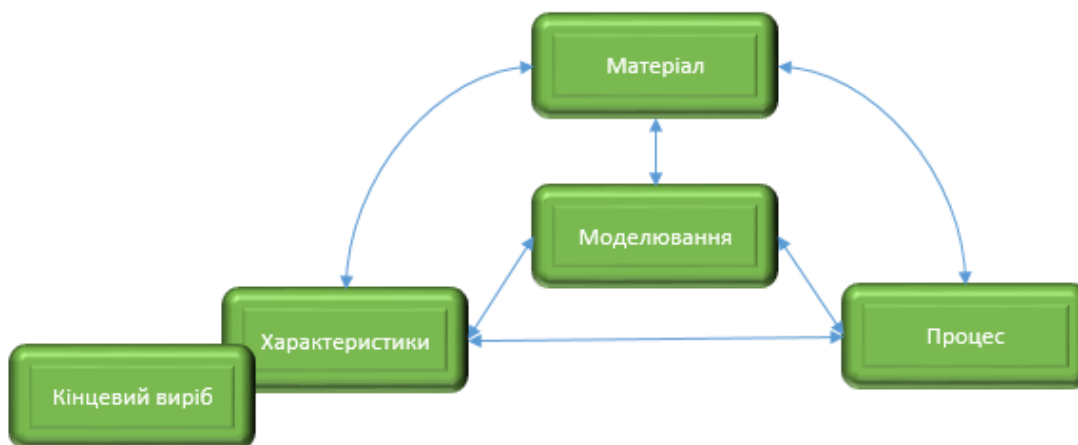


Рис. Взаємозалежність моделювання, матеріалу, процесу та виробу

По-перше, повільна реакція схоплювання надрукованих шарів бетону призводить до сильної взаємодії з застосованими параметрами друку, такими як швидкість друку, тиск насоса, укладання шарів тощо.

По-друге, бетон сам по собі не є єдиним фіксованим матеріалом, але, насправді, може мати широкий діапазон варіацій, які можуть бути більш-менш придатними для процесу 3D-друку та необхідних характеристик кінцевого виробу.

Отже, параметри друку не можуть бути розроблені незалежно від геометричних характеристик об'єкту, матеріалу та його кінцевих фізико-механічних властивостей.

Однією з проблем може стати різний вік бетону у системі 3D-друку. Бо сам процес змішування не є безперервним та стабільним. Він носить ознаки поетапності.

У процесі друку вкрай важливо досягнути універсальності системи. А саме: щоб потік друкованих шарів можна було зупинити та повторно запустити і продовжити в іншому місці.

Також потрібно враховувати показник температури суміші, яка залежить не тільки від навколишнього середовища і початкових характеристик системи та її теплопровідності, але і від тертя, яке виникає у самій системі від ряду підпараметрів.

На даний момент, 3D-друк бетонних конструктивних елементів здійснюється в обмеженому масштабі. Хоча технологія постійно удосконалюється, існує деяке обмеження щодо розміру та форми елементів, які можуть бути надрукованими [4].

Важливою перепоною у процесі 3D-друку, є те, що якість отриманого таким чином бетону залежить не тільки від хімічних реакцій, але і, значною мірою, від фізичного ущільнення. Зазвичай, це досягається за допомогою вібрації після заливки, чи використання самоущільнюючого бетону, але у випадку 3DCP це не припустимо. Частково цю проблему можливо вирішити за допомогою створення спеціальної бетонної суміші, яка б не потребувала необхідності ущільнення після друку, чи проектування системи друку таким чином, щоб вона нам дозволяла ущільнювати суміш під тиском, безпосередньо перед самим друком шарів.

Крім того, необхідно розробити відповідні та загальноприйняті методи випробувань та тестувань фізико-механічних властивостей друкованого бетону. У науковій літературі можна знайти два принципово різних підходи до характеристики заданої конкретної поведінки. На даний час, для аналізу попередньо схопленого бетону застосовуються як метод Друкера–Прагера, так і підхід пластичної рідини Бінгема. Який підхід є найбільш прийнятним, залежить від конкретної мети аналізу [5].

3D-друк бетонних конструктивних елементів є перспективним напрямком розвитку будівельної промисловості, проте, щоб ця технологія стала більш популярною, необхідно продовжувати працювати над вирішенням вищеперерахованих проблем.

Список використаних джерел

1. B. Raphael et al. A review of concrete 3D printed structural members. *Frontiers in Built Environment*. 2023. Vol. 8. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1034020> (date of access: 16.03.2023).
2. Husiev V. O., Nikiforova T. D. Research of the converting stages for the volume model of the product into the control code for a 3d printer in the context of automated construction of 3d printing technology. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 4. Pp. 38–45. URL: <https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.250822.38.876> (date of access: 16.03.2023).
3. Husiev V., Nikiforova T. Analysis of stl files as input data for rapid prototyping systems. *Building Constructions. Theory and Practice*. 2022. № 11. Pp. 77–85. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.77-85> (date of access: 16.03.2023).
4. Ko C.-H. Constraints and limitations of concrete 3D printing in architecture. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021. Ahead-of-print, ahead-of-print. URL: <https://doi.org/10.1108/jedt-11-2020-0456> (date of access: 16.03.2023).
5. Senthilnathan S., Raphael B. Using computer vision for monitoring the quality of 3d-printed concrete structures. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, № 23. P. 15682. URL: <https://doi.org/10.3390/su142315682> (date of access: 16.03.2023).