

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛОК АРМОВАНИХ ЗВАРНИМИ  
КАРКАСАМИ МЕТОДОМ 3D ДРУКУ**

**TECHNOLOGY OF MANUFACTURING BEAMS REINFORCED WITH  
WELDED FRAMES BY 3D PRINTING METHOD**

**Бурак Д.Ю.,** аспірант, ORCID: 0009-0005-0507-5022, (Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів) **Резнік П.А.,** к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-3937-6833, (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків), **Володимиров А.В.,** аспірант, ORCID: 0009-0001-8416-535X, (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків), **Баб’як В.І.,** к. арх., доцент, 0000-0002-9672-0971(Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів)

**Burak D.Y.,** postgraduate student, ORCID: 0009-0005-0507-5022, (Lviv Polytechnic National University, Lviv), **Reznik P.A., Ph.D.,** associate professor, ORCID: 0000-0003-3937-6833, (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv), **Volodymyrov A.V.,** postgraduate student, ORCID: 0009-0001-8416-535X, (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv), **Babyak V.I., Ph.D.,** associate professor, ORCID: 0000-0002-9672-0971, (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

**Публікація присвячена технології виготовлення балок методом 3D друку, армовані зварними каркасами. Представлено робочі креслення конструкцій. Розроблено технологію виготовлення балок із використанням будівельного 3D принтеру. У результаті отримано конструкції, які готові до подальших експериментальних випробувань.**

**The publication is devoted to the technology of manufacturing beams by the method of 3D printing, reinforced with welded frames.**

**The aim of the study. To develop a technology for the manufacture of beams using a construction 3D printer with reinforcement of beams with welded frames.**

**The task of the research is the construction of beams reinforced with welded frames and the technology of their production by the method of 3D printing with the specified sequence of work, taking into account the capabilities of the construction printer. On the basis of the developed technology, make test samples of beams for further experimental research.**

**Research methodology. To implement the task, the beams were first modeled and designed in graphic automated complexes, taking into account the**

features of their further formation and production by 3D printing.

Constructions of experimental beams reinforced with welded frames were produced using a construction 3D printer by the Ukrainian company LLC "3D TECHNOLOGY UTU" based on a previously developed technological sequence of work. The work presents constructive solutions and working drawings of experimental samples. The developed technology takes into account the possibility of reinforcing the beam with welded frames. The diagram of the movement of the nozzle of the 3D printer during the formation of the beam is shown. The design is made taking into account the structural requirements.

As a result, using 3D printing technology, two beams reinforced with welded frames were obtained, further research of which is planned to be carried out in laboratory conditions. These designs can be successfully used in construction and as part of scientific experimental research.

In order to know the physical and mechanical characteristics of the materials of the beams, experimental samples of cubes and prisms, as well as fittings from the same materials as the beams, were made. The use of a construction printer and 3D printing made it possible to obtain structures that exactly corresponded to the previously developed structural solutions and were manufactured according to the developed technological solutions.

**Ключові слова:** 3D друк, арка, технологія виготовлення, конструювання  
3D printing, arch, manufacturing technology, design

**Вступ.** Використання технології 3D-друку у будівництві потенційно може вирішити важливі завдання, такі як підвищення продуктивності та швидкості будівництва, недостатню кількість кваліфікованих працівників, друк складних за формою архітектурних конструкцій, відмова від опалубки при проведенні бетонних робіт, а також друк незйомної опалубки.

Будівельні 3D принтери можуть не лише виготовляти окремі збірні конструкції в павільйоні, а і зводити цілі будівлі безпосередньо на ділянці. Дана технологія дозволяє в стислі терміни звести квартали однотипних споруд, для тимчасового проживання людей, які постраждали внаслідок природніх катаклізмів, або військових конфліктів.

Технологія 3D друку дозволяє значно скоротити вартість будівництва шляхом зменшення часу виконання будівельних робіт, автоматизації процесів та зменшенням кількості працівників, в порівнянні з традиційним будівництвом. Також автоматизовані процеси зменшують кількість помилок під час проектування та будівництва.

Сьогодні в Україні відсутні принципи 3D друку, не проведенні дослідження щодо несучої здатності та деформативності надрукованих конструкцій, відсутні норми для їх проектування.

**Аналіз останніх досліджень.** Останнім часом велика увага у сфері

будівництва приділяється технології 3D друку. Будинки, створені за допомогою цієї технології, все частіше з'являються у різних країнах світу. У світі вже активно будуються багатопверхові будинки, готелі, адміністративні та промислові споруди з використанням 3D принтерів.

Але для більш стрімкого розвитку необхідна нормативна база, яка повинна створюватися на основі реальних експериментальних досліджень.

Українські науковці з Національного університету "Львівська політехніка" займаються науковими дослідженнями в галузі 3D друку [1].

На поточному етапі розвитку технології 3D друку обладнання дозволяє створювати різноманітні архітектурні форми та елементи будівель з метою подальшої збірки їх на місці будівництва. Також існує можливість друкувати цілі будівлі безпосередньо на будівельному майданчику [2].

Багато наукових досліджень спрямовані на вивчення матеріалів та виробів, створених за допомогою 3D друку, а також на саму технологію виготовлення [3,4].

Точно так, розвиток масового виробництва 3D-принтерів прямо залежить від наявності відповідних матеріалів для друку. Тому сьогодні активно працюють над розробкою матеріалів, які можна використовувати для створення складних архітектурних форм методом 3D-друку. Це відкриває безліч можливостей для інновацій у будівництві та дизайні [5].

Українська компанія ТОВ "3D TECHNOLOGY UTU" [6] активно працює над виготовленням 3D принтерів, розробкою та впровадженням цієї технології.

**Мета дослідження.** Розробити технологію виготовлення балок із використанням будівельного 3D принтера із армуванням балок зварними каркасами.

**Задачею дослідження** є конструювання балок, армованих зварними каркасами та технології їхнього виготовлення методом 3D друку із вказаною послідовністю виконання робіт, враховуючи можливості будівельного принтера. На основі розробленої технології виготовити дослідні зразки балок для проведення подальших експериментальних досліджень.

**Методика дослідження.** Для реалізації поставленого завдання спершу виконувалося моделювання та проектування балок у графічних автоматизованих комплексах із врахуванням особливостей їхнього подальшого формування та виготовлення методом 3D друку.

Конструкції дослідних балок, армованих зварними каркасами, виготовлялися із використанням будівельного 3D принтера українською компанією ТОВ "3D TECHNOLOGY UTU на основі попередньо розробленої технологічної послідовності проведення робіт, під керівництвом д.т.н., проф. Демчини Б.Г. та у подальшому будуть експериментально випробовуватися у лабораторії НУ "Львівська політехніка".

Технологічна послідовність робіт була наступною:

- моделювання та проектування (рис. 6);
- виготовлення званих арматурних каркасів (рис. 2);

- моделювання напрямку руху сопла 3D принтера (рис. 1);
- друк першого шару;
- технологічна перерва 3-5 хв для твердіння бетону;
- влаштування зварного арматурного каркасу у проектне положення по першому нижньому бетонному шару (рис. 3);
- технологічна перерва 3-5 хв для твердіння бетону;
- друк другого, третього та четвертого шарів бетону із перервами 3-5 хв для твердіння бетону, після влаштування кожного із шарів;
- влаштування зварного арматурного каркасу у проектне положення по четвертому бетонному шару (рис. 4);
- технологічна перерва 3-5 хв для твердіння бетону;
- друк останнього п'ятого бетонного шару (рис. 5);
- очікування не менше 28 днів для твердіння бетону, отримання готових виробів (рис. 7);
- транспортування балок у випробувальну лабораторію.

Геометрія балочної конструкції у плані із схемою руху сопла будівельного 3D принтера показана на рис. 1. У перерізі видно, що всього друкувалося 5 шарів бетону.

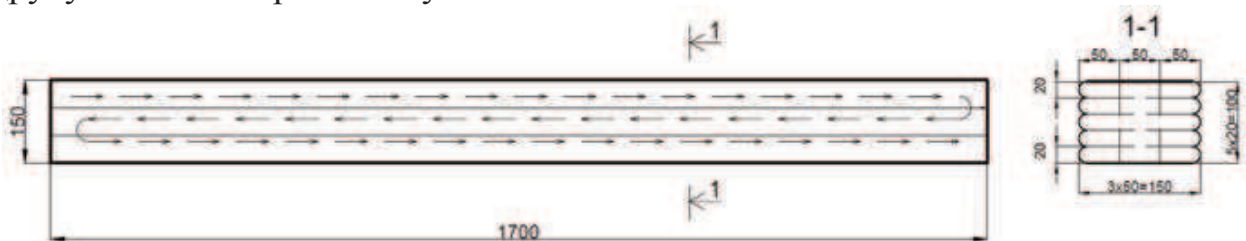


Рис. 1. Схема руху сопла 3D принтера при формуванні балки

Робоче креслення зварного арматурного каркасу, який виготовлявся у заводських умовах показано на рисунку 2.

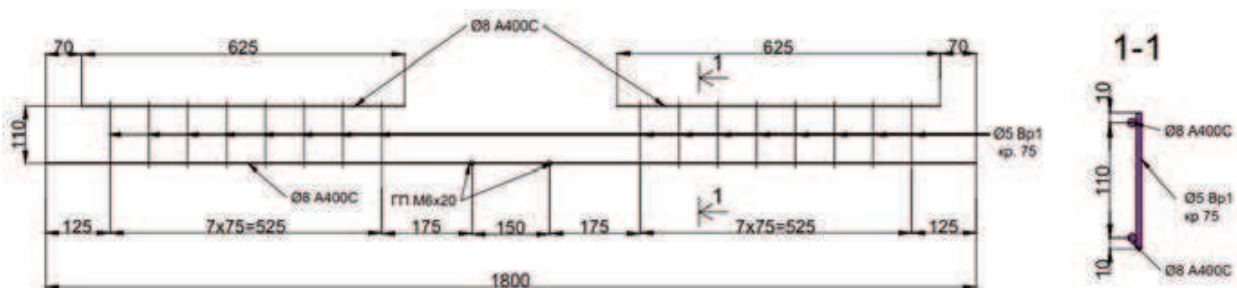


Рис. 2. Зварний арматурний каркас балки

На рисунку 2 показано, що нижня робоча та верхня конструктивна арматура діаметром 8, класу А400С, віддаль між центрами стержнів повздовжньої арматури 110 мм. Поперечна арматура діаметром 5, класу ВР-1 із кроком 75 мм, розміщена в крайніх третинах прольоту, в зоні дії максимальних поперечних сил. В нормальному середньому перерізі



повздожня робоча арматура розміщена по низу, а по верху відсутня, із розрахунку, що у нижній зоні балки працює арматура на розтяг, а у верхній зоні бетон на стиск. Конструювання виконано із урахуванням вимог до влаштування захисних шарів арматури. Зварювання стержнів каркасу виконувалося напівавтоматичним способом.

На рисунку 3 зображено фото із будівельного майданчика, а саме вкладання зварного арматурного каркасу на перший бетонний шар, що виконувалося через 3-5 хв після завершення друку цього шару.



Рис. 3. Зварні арматурні каркаси по надрукованому першому шару

Каркаси розроблялися та виготовлялися із урахуванням подальшого випробування балок, тому у нормальному перерізі балки у зоні дії максимальних згинальних моментів по низу до повздожніх арматурних стержнів перпендикулярно приварювалися спеціальні тримачі для подальшого кріплення вимірювального обладнання вже під час випробування цих балок на згин.

На рисунку 4 показано вкладання зварного арматурного каркасу на четвертий бетонний шар, що виконувалося через 3-5 хв після завершення друку цього шару.



Рис. 4. Зварні арматурні каркаси по надрукованому четвертому шару

Необхідно відмітити, що влаштування зварного арматурного каркасу відбувалося у часовому проміжку 3-5 хв, після влаштування четвертого шару та перед влаштуванням останнього п'ятого шару. Тобто враховувався час для достатнього тужавіння бетону, а також період часу який був запрограмований для 3D друку ще на початку роботи принтера.

Після влаштування останнього п'ятого шару було отримано готові армовані балочні конструкції, фото яких зображено на рисунку 5.



Рис.5. Конструкція арки, після завершення робіт методом 3D друку

Всього методом будівельного 3D друку було виготовлено два дослідні зразки цієї серії експериментальних досліджень, а саме балки армовані зварними каркасами

Отримані конструкції набирали міцність 28 днів, після чого були перевезені у лабораторію для подальших випробувань.

**Результати дослідження.** У результаті проектної роботи було сконструйовано та виконано робочі креслення армованих балок, виготовлених методом 3D друку (рис. 6).

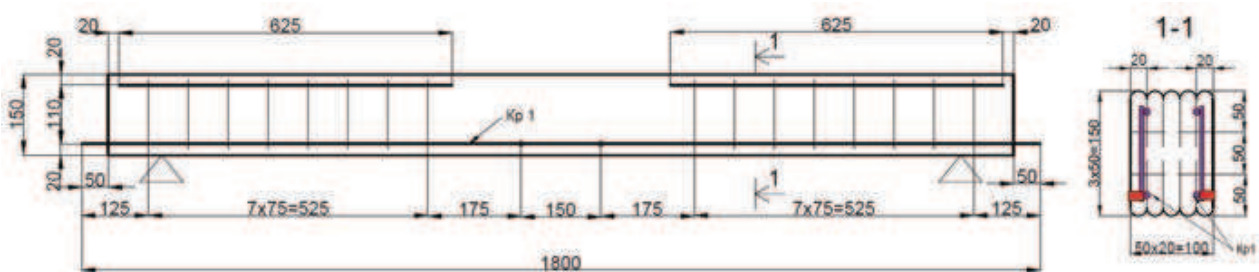


Рис. 6. Балка армована зварними каркасами та виготовлена методом 3D друку

Згідно рисунку 7 довжина балки становить 1800 мм, ширина 100 мм, а висота 150 мм. Згідно технології виготовлення балка виготовлялася горизонтально п'ятьма шарами, а після набору міцності переверталася на 90 градусів у проектне положення.

У торцях арматура каркасу випущена на 50 мм для дослідження анкерівки нижньої робочої арматури під час проведення експериментальних досліджень.

Щоб знати фізико-механічні характеристики матеріалів балок, було виготовлено дослідні зразків кубів та призм, а також арматури із тих самих матеріалів, що й балки.

У результаті апробації розробленої технології виготовлення балок армованих зварними каркасами методом 3D друку отримано надруковані конструкції балок даної серії, фото яких показано на рисунку 7.



Рис. 7. Балки виготовлені методом 3D друку, після досягнення проектної міцності.

У подальшому планується дослідження роботи балок, які виготовлені методом 3D друку, під навантаженням у лабораторних умовах.

**Висновки.** У підсумку, розроблена технологія виготовлення балок армованих зварними каркасами за допомогою 3D друку з використанням будівельного принтера виявилася ефективною для створення високоякісних конструкцій.

Ці конструкції можуть бути успішно використані у будівництві та в рамках наукових експериментальних досліджень.

Застосування будівельного принтера та 3D друку дозволило отримати конструкції, які точно відповідали попередньо розробленим конструктивним рішенням, і були виготовлені згідно з розроблених технологічних рішень.

1. B. Demchyna, L. Vozniuk, M. Surmai. Testing of the Ribbed Dome Which is Manufactured by 3D Printing. Proceedings of CEE 2023. CEE 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 438. Springer, Cham (2024). DOI: 10.1007/978-3-031-44955-0\_8.

2. Gavrylyak S.A. , New technologies in the field of construction. Using 3d printers (Academic Journals and Conferences. JTBP.2021), pp.15-22.

3. Hamidreza Gh.S., Corker J., Fan M. Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an ecoinnovative solution. Automation in Construction. 2018. Vol. 93. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005> (дата звернення: 27.03.2020).

4. A. Tomaswick, Mars and Moon Dust can be Turned Into Geopolymer Cement. Good Enough for Landing Pads and Other Structures, Universe Today Space and astronomy news (2022). <http://surl.li/divzd>

5. I. Perkins and M. Skitmore Three-dimensional printing in the construction industry: a review Int. J. Confl. Manag., 15 (2015), pp. 1-9. DOI: 10.1080/15623599.2015.1012136

6. <https://utu.com.ua/>