

УДК 658.51:334.722.1

Гавриляк Анатолій Степанович

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій
Національний університет «Львівська політехніка»*

Havryliak Anatolii

*PhD, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Business Economics and Investment
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-1743-1646*

Гавриляк Степан Анатолійович

*аспірант кафедри адміністративного та фінансового менеджменту
Національного університету «Львівська політехніка»*

Havryliak Stepan

*Graduate Student of the Department of
Administrative and Financial Management
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0003-1324-9027*

Данилович Олег Тарасович

*студент
Інституту будівництва та інженерних систем
Національного університету «Львівська політехніка»*

Danylovych Oleh

*Student of the
Institute of Civil Engineering and Building Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-0461-2157*

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У БУДІВНИЦТВІ,
ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ
AUTOMATION OF MANUFACTURING PROCESSES IN THE
CONSTRUCTION AS A FACTOR OF INCREASE IN ITS EFFICIENCY**

Анотація. Метою цього дослідження є обґрунтування ефективності автоматизації виробничих процесів у будівництві на основі впровадження 3D технологій. У процесі дослідження було розглянуто заходи щодо підвищення ефективності виробничих процесів у будівництві, які умовно можна поділити на дві групи: перша група - збільшення екстенсивного завантаження; друга група - підвищення інтенсивного навантаження. Серед названих заходів підвищення інтенсивного навантаження найбільш перспективним є автоматизація виробничих процесів. Розглянуто ефективність автоматизації влаштування бетонної суміші в фундаменти за допомогою використання будівельного 3D-принтеру. Показано, що автоматизація будівельного процесу по влаштуванню бетонної суміші в фундаменти є одним з важливих чинників його ефективності, а саме скорочення тривалості виконання будівельного процесу, ефективності використання матеріалів та зменшення витрат. Тому одним із суттєвих характеристик сучасного будівельного виробництва є зростання рівня його автоматизації, що значно підвищить його ефективність та вирішить багато проблем, пов'язаних з організацією та обслуговуванням. Наведено переваги та недоліки автоматизації виробничих процесів у будівництві. Отримані результати дослідження можуть бути застосовані у будівництві для підвищення ефективності виробничих процесів.

Ключові слова: будівництво, автоматизація будівельних процесів, 3-D технології, 3D-принтер, ефективність виробничого процесу.

Summary. *The purpose of this study is to substantiate the effectiveness of automation of production processes in construction based on the implementation of 3D technologies. In the course of the study, measures to increase the efficiency of production processes in construction were considered, which can be conditionally divided into two groups: the first group - an increase in extensive loading; the second group - increasing the intensive load. Among the mentioned measures to increase the intensive load, the most promising is the automation of production processes. The effectiveness of automating the placement of concrete mixture in foundations using a construction 3D printer is considered. It is shown that the automation of the construction process for placing the concrete mixture in the foundations is one of the important factors of its efficiency, namely, the reduction of the duration of the construction process, the efficiency of the use of materials, and the reduction of costs. Therefore, one of the essential characteristics of modern construction production is the increase in the level of its automation, which will significantly increase its efficiency and solve many problems related to organization and maintenance. The advantages and disadvantages of automation of production processes in construction are given. The obtained research results can be applied in construction to improve the efficiency of production processes.*

Key words: *construction, automation of construction processes, 3-D technologies, 3D-printer, efficiency of the production process.*

Постановка проблеми. В умовах конкуренції, розвитку штучного інтелекту, 3-D технологій, традиційні технічні засоби, які застосовуються у будівельному виробництві не задовольняють сучасні вимоги. Все більше будівельних компаній звертають увагу на автоматизацію будівництва в тому числі виробничих процесів, як інноваційне рішення з випуску якісної, дешевої будівельної продукції. Автоматизація будівельного виробництва змінює традиційні підходи до виконання будівельних робіт в таких

елементах та поняттях виробничого процесу як: знаряддя та предмети праці, інформація, організація праці, час, простір. Наведені елементи справляють великий вплив на основні техніко-економічні показники будівельного виробництва. Однак визначення впливу автоматизації виробничих процесів у будівництві на його ефективність потребують додаткових досліджень.

В цілому, це дозволить оцінити перспективи автоматизації виробничих процесів у будівництві та її ефективність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день в будівництві великими темпами відбувається автоматизація будівництва починаючи від автоматизації проектування будівництва, завершуючи автоматизацією введення в експлуатацію. Завдяки автоматизації стає легше генерування велику кількість рішень та вибирати оптимальні. В 1995 році Японська корпорація Obayashi розробила першу у світі автоматизовану систему будівництва «BigCanору» для висотних каркасних залізобетонних будівель. Застосування даної системи дозволило збільшити продуктивність праці, зменшити тривалість будівництва, що в кінцевому результаті значно знизило загальну вартість будівництва [1; 2; 3].

Автоматизацією будівництва, його окремих процесів зокрема автоматизацію проектування висвітлено в роботах [4; 5]. Програмне забезпечення для виконання проєктів з кожним разом все більше спрощують розробку проєктів, що в свою чергу робить процес розробки менш трудомістким та більш організованим.

В роботах [6; 7] розглядається питання застосування в будівництві роботів, зокрема промислових роботів та мобільні роботизовані платформи, які в найближчому майбутньому будуть відігравати важливу роль при автоматизації будівництва. Проте великі початкові інвестиції в дослідження та створення будівельних роботів та роботизованих платформ

на даний час стримують цей напрямок розвитку. За останні роки набула широкої популярності використання 3-D технологій в будівництві [8; 9].

Разом з тим, у літературі не достатньо уваги приділено обґрунтуванню ефективності автоматизації будівельних виробничих процесів на основі впровадження 3-D технологій.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є обґрунтування ефективності автоматизації будівельних виробничих процесів на основі впровадження 3-D технологій. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі головні завдання: визначити напрями та шляхи підвищення ефективності виробничих процесів у будівництві; розглянути автоматизацію укладання бетонної суміші з використання будівельного 3D-принтера; порівняти ефективність використання будівельного 3D-принтера у виробничому процесі з традиційними способами укладання бетонної суміші.

Виклад основного матеріалу дослідження. Заходи щодо підвищення ефективності виробничих процесів у будівництві можна умовно поділити на дві групи:

- перша група - збільшення екстенсивного завантаження;
- друга група - підвищення інтенсивного навантаження.

До першої групи слід віднести: збільшення змінності роботи машин і механізмів, зменшення простоїв машин і механізмів та зменшення питомої ваги непрацюючих машин. До другої групи відносимо: механізація та автоматизація виробництва, оновлення та модернізація машин і механізмів, використання сучасних технологій та організації будівельного виробництва.

Якщо перша група на сьогодні не повністю реалізована проте вона обмежується календарним фондом часу, то друга група має ширші можливості для підвищення ефективності виробничих процесів. Серед

названих заходів підвищення інтенсивного навантаження найбільш перспективним є автоматизація виробничих процесів.

Автоматизація виробничих процесів у будівництві – це застосування сучасних прогресивних технологій і організаційних заходів з використанням високоефективних машин і механізмів для автоматизації основних, допоміжних і обслуговуючих процесів у будівництві.

Автоматизацію виробничих процесів у будівництві почали значно пізніше ніж у інших галузях виробництва. Це пов'язано відмінністю будівельної галузі від інших галузей виробництва в організації виконання виробничих процесів. Якщо у промисловому виробництві виконавці працюють на стаціонарних робочих місцях а предмети праці переміщуються, то у будівельному виробництві виконавці переміщуються а предмети праці залишаються нерухомими.

Поштовхом для автоматизації виробничих процесів у будівництві став швидкий розвиток 3-D технологій. За останні роки технологія 3D друку набула широкої популярності в будівництві. Консалтингова компанія Grand View Research прогнозує, що ринок будівельного 3D-друку до 2028 року зростатиме на 91,5% щорічно [8].

Будівельні 3D принтери в своїй основі використовують технологію екструзії. Дана технологія полягає в тому, що під час виконання робіт відбувається пошарове накладання бетонної суміші в конструкцію (фундамент, стіни, перегородки).

В деяких випадках 3D- принтери використовують і в модульному будівництві. Після друку елементів з яких складається будівля вже вручну або за допомогою спеціальної техніки виконується монтаж цих модулів.

Одним з найвідоміших прикладів використання технологій 3D друку в масовому будівництві є зведення 500 будинків для людей, які опинились за межею бідності в місті Наказуці що у Мексиці. Під час роботи над цим проектом було використано принтер Icon Vulcan II, який зводив будинок

менш ніж за 24 години. Розмір принтера становить: ширина -2.6м , - висота -8.5м, а довжина визначається з потреб та габаритів об'єктів друку і виконується по напрямку виконання робіт. В якості матеріалу використовувався бетон [8]. При цьому весь процес укладання бетонної суміші контролюється за допомогою планшету. Процес влаштування бетонної суміші з використанням технологій 3D друку зображено на рис.1.



Рис. 1. 3D-принтер Icon Vulcan II (США)

Для порівняння ефективності автоматизації виробничого процесу у будівництві над традиційними способами укладання бетонної суміші розглянемо три варіанти монтажу монолітного фундаменту обсягом 100м³: Перший варіант – машинний (укладання бетонної суміші з використанням бетононаосу). Другий варіант – машинно-ручний (укладання бетонної суміші кранами в баддях). Третій варіант – автоматизований (укладання бетонної суміші з використання будівельного 3D-принтера).

Використання будівельних машин та механізмів, людських, матеріальних ресурсів при різних варіантах монтажу монолітного фундаменту наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Матеріально-технічне забезпечення монтажу монолітного фундаменту

Будівельні процеси	Основні матеріали	Будівельні машини та механізми	Кількість працівників, роб
Перший варіант – машинний (використання бетононасосу)			
Опалубочно-розпалубочні роботи	Опалубка	Кран	2
*Вкладання бетонної суміші	Бетонна суміш	Бетононасос	2
Другий варіант – машинно-ручний (використання крану та бадді)			
Опалубочно-розпалубочні роботи	Опалубка	Кран	2
*Вкладання бетонної суміші	Бетонна суміш	Кран, баддя	2
Третій варіант – автоматизований (використання 3D-принтера)			
*Вкладання бетонної суміші	Бетонна суміш	3D-принтер	2

*бетонну суміш готують безпосередньо на об'єкті за допомогою бетономішалки.

Джерело: сформовано авторами

Знаходимо прямі витрати при різних варіантах зведення монолітного стрічкового фундаменту до яких входить вартість матеріалів, заробітна плата працівників і вартість експлуатації машин та механізмів. Розрахунок прямих витрат складений у поточних цінах станом на 20 листопада 2022 року.

Результати розрахунків занесено в табл. 2.

За результатами розрахунку видно, що використання 3D-принтера при монтажу монолітного фундаменту є дешевшим в порівнянні з першими двома варіантами, це відбулося за рахунок зменшення вартості матеріалів та конструкцій (відсутність опалубочно-розпалубочних робіт) та зменшення заробітної плати (менша кількість працівників).

Також суттєво зменшилась загальна трудомісткість виконання будівельних робіт.

**Розрахунок прямих витрат та трудомісткості при різних варіантах
монтажу монолітного фундаменту**

№ п/п	Показники	Перший варіант – машинний (використання бетононасосу)	Другий варіант – машинно-ручний (використання крану та бадді)	Третій варіант – автоматизований (використання 3D-принтера)
1	Разом прямі витрати Всього, грн	740637	740008	421 473
	в тому числі:			
2	Вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн	655905	655905	367 500
3	Заробітна плата, грн	57416	57429	9173
4	Вартість експлуатації машин і механізмів, грн	27316	26674	44 800
5	Загальна трудомісткість, люд- год.	631,88	636,31	103,33

Джерело: сформовано авторами

Використання технологій 3D друку в будівництві має ряд переваг та недоліків. До переваг використання технологій 3D-принтерів в будівництві можна віднести :

- Екологічність. Під час будівництва з використанням 3D-принтерів можна використовувати екологічно чисті матеріали. Також деякі 3D-принтери працюють від сонячних батарей.

- Доступність житла. Використання 3D-принтерів дозволяє зменшити собівартість житла, що робить його доступним для людей.

- Масштабування. Технологія 3D-друку з використанням 3D-принтерів зменшує витрати на будівництво при цьому якість та міцність конструкцій не погіршується.

- Ефективність використання матеріалів, машин і механізмів, праці робітників.

- Зменшення термінів будівництва.

До недоліків використання технологій 3D-принтерів в будівництві слід віднести :

- Великі початкові інвестиції. На даний момент виробництво будівельних 3D-принтерів є досить дороговартісним і вартість такого приладу місцями може сягати до мільйона доларів.

- Часткове будівництво будинків. Технологія на даному етапі розвитку передбачає будівництво тільки каркасу.

- Відсутність норм будівництва. На даний момент відсутні нормативні документи, правила та методи навчання та сертифікації спеціалістів для використання 3D-друку, що в свою чергу не дозволяє розвиватися даній технології та її масштабному використанню.

Висновки та перспективи подальших розвідок. Автоматизація виробничих процесів у будівництві змінює традиційні підходи до виконання будівельних робіт та справляє великий вплив на основні техніко-економічні показники будівельного виробництва.

Розглянуто використання будівельних машин та механізмів, людських, матеріальних ресурсів та розраховано прямі витрати при різних варіантах зведення монолітного стрічкового фундаменту, а саме: укладання бетонної суміші з використанням бетононасосу; укладання бетонної суміші кранами в баддях та укладання бетонної суміші з використання будівельного 3D-принтера.

Результат розрахунку показав, що використання 3D-принтера при монтажу монолітного фундаменту є дешевшим в порівнянні з іншими варіантами, за рахунок зменшення вартості матеріалів і конструкцій та заробітної плати а також дозволило суттєво скоротити тривалість виконання даного процесу. Отже, основним з шляхів здешевлення та скорочення тривалості будівельних процесів та будівництва в цілому є його автоматизація за допомогою використання 3D технологій.

Встановлено переваги та недоліки автоматизації будівництва з використанням 3D технологій.

Подальші дослідження потребують більш повного врахування чинника автоматизації на ефективність виконання виробничого процесу в будівництві.

Література

1. Thomas Linner. Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites // Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik. München : Technische Universität München, 2013.
2. Miyakawa H., Ochiai J., Oohata K. Andshioka. Application of automated-building construction system for high-rise of office building. Proceedings of the 17-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Sept. 2000. P. 1007–1012.
3. Черненко К.В. Аналіз автоматизованого будівництва багатоповерхових житлових громадських будинків і споруд в Японії // Містобудування та територіальне планування. 2014. С. 662-671.
4. Gerth R., Sandberg M., Lu W., Jansoon G., Design automation in construction: An overview [Online], Conference: Proceedings of the 33rd CIB W78 Conference 2016, Oct. 31st–Nov. 2nd 2016, Brisbane, Australia, 2016.
5. Begić H., Galić M., Dolaček-Alduk Z. Digitalization and automation in construction project's life-cycle: a review. Journal of Information Technology in Construction (ITcon). 2022. Vol. 27. P. 441-460. doi: 10.36680/j.itcon.2022.021.
6. Davis M., Autodesk Sr. Director. What Is Construction Automation, and How Will It Drive the Future of Building? URL: <https://redshift.autodesk.com/articles/construction-automation>

7. Cartwright D. Senior Marketing Manager – Software. 5 Examples of Automation in Construction. URL: <https://www.buildsoft.com.au/blog/5-examples-of-automation-in-construction>
8. Biolog-center. 3D принтери для будівництва будинків: міф чи реальність. 2018. URL: <http://www.dialogue.center/blog/3d-pryntery-dlia-budivnytstva-budynkiv-mif-chy-realnist>.
9. Gavrylyak S.A. New technologies in the field of construction. Using 3d printers // Academic Journals and Conferences. JTBP. 2021. Vol. 3, № 1. P. 15-22.

References

1. Thomas Linner. Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites // Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik. München : Technische Universität München, 2013.
2. Miyakawa H., Ochiai J., Oohata K. Andshioka. Application of automated-building construction system for high-rise of office building. Proceedings of the 17-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Sept. 2000. P. 1007–1012.
3. Chernenko K.V. Analiz avtomatyzovanoho budivnytstva bahatopoverkhovykh zhytlovykh hromadskykh budynkiv i sporud v Yaponii // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2014. S. 662-671.
4. Gerth R., Sandberg M., Lu W., Jansoon G., Design automation in construction: An overview [Online], Conference: Proceedings of the 33rd CIB W78 Conference 2016, Oct. 31st–Nov. 2nd 2016, Brisbane, Australia, 2016.
5. Begić H., Galić M., Dolaček-Alduk Z. Digitalization and automation in construction projects life-cycle: a review. Journal of Information Technology in Construction (ITcon). 2022. Vol. 27. P. 441-460. doi: 10.36680/j.itcon.2022.021.

6. Davis M., Autodesk Sr. Director. What Is Construction Automation, and How Will It Drive the Future of Building? URL: <https://redshift.autodesk.com/articles/construction-automation>
7. Cartwright D. Senior Marketing Manager – Software. 5 Examples of Automation in Construction. URL: <https://www.buildsoft.com.au/blog/5-examples-of-automation-in-construction>
8. Biolog-center. 3D pryntery dlia budivnytstva budynkiv: mif chy realnist. 2018. URL: <http://www.dialogue.center/blog/3d-pryntery-dlia-budivnytstva-budynkiv-mif-chy-realnist>.
9. Gavrylyak S.A. New technologies in the field of construction. Using 3d printers // Academic Journals and Conferences. JTBP. 2021. Vol. 3, № 1. P. 15-22.