

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ

ЛЕТУЧИЙ КИРИЛО СЕРГІЙОВИЧ

Допускається до захисту:

в. о. завідувача кафедри будівництва,
архітектури, геодезії та землеустрою
канд. техн. наук, доцент

_____ Олексій ОВЧАРЕНКО

« _____ » _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

РОБОТИЗАЦІЯ ЗВЕДЕННЯ БУДІВЕЛЬ

на здобуття освітнього ступеня магістр
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Керівник

_____ Василь ДОНЕНКО

Дніпро, 2022

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

Факультет _____ аграрний _____
Кафедра _____ будівництва, архітектури, геодезії та землеустрою _____
Освітній рівень _____ магістр _____
Спеціальність _____ 192 «Будівництво та цивільна інженерія» _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Овчаренко О. А.

« ____ » _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

ЛЕТУЧИЙ КИРИЛО СЕРГІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Роботизація зведення будівель»

керівник роботи Доненко Василь Іванович, д. т. н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом СНУ ім. В. Даля від «12» жовтня 2022 року № 28/14.08-ОД

2. Строк подання студентом роботи «15» листопада 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: завдання, наукові та нормативні джерела

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Розділ 1. Постановка проблеми

Визначення загальних тенденцій розвитку робототехніки в цілому, а також роботизації та автоматизації будівельного виробництва

Розділ 2. Використання існуючих технологій роботизації та автоматизації зведення будівель

Проаналізувати існуючі розробки в сфері роботизації будівництва.

Розділ 3. Розробка концепції роботизованої системи зведення будівель.

Запропонувати класифікацію будівельних робіт. Розробити власну концепцію роботизованої системи зведення будівель.

5. Перелік графічного матеріалу

Графічне представлення існуючих розробок з роботизації зведення будівель, а також креслення, що розкривають власні пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1. Постановка проблеми	Доненко В. І.	12.10.2022	
Розділ 2. Використання існуючих технологій роботизацій та автоматизації зведення будівель	Доненко В. І.	12.10.2022	
Розділ 3. Розробка концепції роботизованої системи зведення будівель	Доненко В. І.	12.10.2022	

7. Дата видачі завдання 12 жовтня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	21.10.2022	
2.	Розділ 2	28.10.2022	
3.	Розділ 3	04.11.2022	
5.	Остаточне оформлення дипломної роботи	14.11.2022	
6.	Попередній допуск (захист) роботи на кафедрі	15.11.2022	
7.	Направлення дипломної роботи на рецензування	15.11.2022	

Здобувач вищої освіти _____

Летучий К. С.

Керівник _____

Доненко В. І.

Анотація

Летучий К. С. Роботизація зведення будівель. Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія», освітня програма «Будівництво та цивільна інженерія». Дніпро: Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 2022 рік.

У першому розділі «Постановка проблеми» розглянутий сучасний стан механізації будівельної галузі, тенденції та розвиток роботизації у промисловості, загальні перспективи роботизації та автоматизації будівництва.

У другому розділі «Використання існуючих технологій роботизацій та автоматизації зведення будівель» визначені найбільш перспективні розробки в напрямі роботизації зведення будівель до яких увійшла австралійський робот Hadrian X, напівавтоматичні роботи компанії Construction robotics, робот-носій OSCAR-3, автономний будівельний робот In-Situ Fabricator, роботи Termes, освітлена технологія 3d друку. Кожна з цих розробок проаналізована на предмет наявних переваг, недоліків та наявності перспективних ідей.

Третій розділ «Розробка концепції роботизованої системи зведення будівель» присвячений власним розробкам. На підставі проведеного аналізу запропонована власна класифікація роботизованих систем. Визначені сфери використання кожного класу, їх недоліки та переваги, можливості у вдосконаленні будівельних роботів. Також в цьому розділі, ґрунтуючись на існуючому досвіді робототехніки, запропонована власна концепція роботизованої системи для зведення будівель, яка повинна значно знизити негативні сторони існуючих машин.

Ключові слова: робототехніка, автоматизація будівництва, робот, маніпулятор, 3d друк, будівельне інформаційне моделювання.

Загальна кількість сторінок 60, кількість рисунків 33, використаних джерел 23.

ЗМІСТ

Розділ 1. Постановка проблеми	8
1.1. Механізація та автоматизація будівельної галузі	8
1.2. Революція в будівництві.....	12
Розділ 2. Використання існуючих технологій роботизацій та автоматизації зведення будівель	15
2.1. Hadrian X	15
2.2. Напівавтоматичні роботи компанії Construction Robotics	20
2.3. Робот-носій OSCAR-3	24
2.4. Автономний будівельний робот In-Situ Fabricator	29
2.5. Роботи Termes.....	33
2.7. Використання технології 3D друку в будівництві.....	45
Розділ 3. Розробка концепції роботизованої системи зведення будівель .	49
3.1. Розробка класифікації будівельних робіт.....	49
3.2. Власна концепція будівельної роботизованої системи.....	52
3.2.3. Проблеми роботизації будівництва та шляхи їх розв’язання...	52
3.2.2. Концепція будівельної роботизованої системи	53
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	58

Вступ

Актуальність теми.

Механізація будівельної галузі це один з пріоритетних напрямів індустріалізації будівництва. В той же час безпосередньо впливаючи на цю галузь, вона зазнає змін у зв'язку з переходом до нових індустріальних технологій ведення робіт.

Створення підґрунтя для переходу на індустріальні технології будівництва, які характеризуються значним різноманіттям технологічних процесів і засобів механізації, обумовлює необхідність розроблення принципово нових машин. З іншого боку стрімкий стрибок у розвитку сучасних технологій дає можливість значно підвищити рівень механізації та автоматизації будівельного виробництва. Це дає можливість зробити наступний крок - перейти від комплексної механізації основних типів будівельних робіт до комплексної механізації зведення об'єктів в цілому, ввести в практику будівництва прогресивні технології, які базуються на використанні індустріальних методів та засобів автоматизації, максимально вдосконалити структуру парку машин і, якщо не повністю відмовитися від ручної праці, то значно скоротити обсяги робіт з її застосуванням [22]. Цей напрям розробок в будівельній галузі чудово сполучається з впровадженням на загальнодержавному рівні технологій будівельного інформаційного моделювання, що лише підвищує його актуальність.

Мета дослідження – розробка на концептуальному рівні роботизованої системи зведення будівель.

Завдання дослідження:

1. Визначити загальні тенденції у автоматизації та роботизації будівельного виробництва.
2. Проаналізувати кращі світові розробки в сфері будівельної робототехніки, визначивши їх сильні та слабкі сторони.
3. Розробити класифікацію будівельних робіт, що використовуються в будівництві.

4. На основі проведеного аналізу, враховуючи запропоновану класифікацію, розробити власну концепцію роботизованої системи для будівництва.

Об'єкт дослідження – технологія зведення будівель.

Предмет дослідження – роботизовані системи для зведення будівель.

Методи дослідження. *Теоретичні методи:* теоретичний аналіз і синтез, абстрагування, конкретизація, індукція та дедукція, аналогія, моделювання, порівняння, класифікація, узагальнення. *Емпіричні методи:* спостереження.

Наукова новизна отриманих результатів. Проаналізовані існуючі розробки в сфері будівельної робототехніки та запропонована класифікація робіт. Розроблена власна концепція роботизованої системи.

Теоретичні значення результатів дослідження. Запропонована класифікація будівельних робіт дозволяє більш обґрунтовано та системно підходити до розробки нових машин.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена концепція може стати базою для вдосконалення існуючих систем роботизації та розробки принципово нових машин.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та літератури, яка містить 23 найменування. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи – 60 сторінок, обсяг основного тексту – 50 сторінок. Робота містить 33 рисунки.

Розділ 1. Постановка проблеми

1.1. Механізація та автоматизація будівельної галузі

Механізація будівельної галузі це один з пріоритетних напрямів індустріалізації будівництва. В той же час безпосередньо впливаючи на цю галузь, вона зазнає змін у зв'язку з переходом до нових індустріальних технологій ведення робіт.

Створення підґрунтя для переходу на індустріальні технології будівництва, які характеризуються значним різноманіттям технологічних процесів і засобів механізації, обумовлює необхідність розроблення принципово нових машин. З іншого боку стрімкий стрибок у розвитку сучасних технологій дає можливість значно підвищити рівень механізації та автоматизації будівельного виробництва. Це дає можливість зробити наступний крок - перейти від комплексної механізації основних типів будівельних робіт до комплексної механізації зведення об'єктів в цілому, ввести в практику будівництва прогресивні технології, які базуються на використанні індустріальних методів та засобів автоматизації, максимально вдосконалити структуру парку машин і, якщо не повністю відмовитися від ручної праці, то значно скоротити обсяги робіт з її застосуванням [22].

Перевагою механізованих методів це не лише безпосередня заміна ручної праці механізованою. Необхідно переглядати всі будівельні процеси в комплексі, щоб визначити можливі зміни, з метою заміни ручної праці механізованою, в тому числі потрібно замінювати безпосередньо технологію процесу зведення будівель і споруд, пристосовувавши її до більш сучасних та досконалих машин і засобів механізації.

Ефективність заміни ручної праці на машинну буде тим вище, чим більша заробітна платня, що витрачається на виконання певної технологічної операції. Та нижча вартість експлуатації механізму. Однак можна також виокремити ще один показник, можливо не такий очевидний, але не менш важливий – це скорочення терміну введення об'єкту в експлуатацію, що вивільнює ресурси підрядника та пришвидшує обіг коштів та дохідність фірми.

Крім того, ефективність введення нових машин може залежати від об'ємів робіт, оскільки складні машини можуть потребувати додаткових налаштувань, переміщень, встановлення тощо. Тому цікаво розглядати комплексну автоматизацію в розрізі великих об'єктів.

У нас значна кількість будівельних робіт має високий або середній рівень автоматизації. Прикладом робіт з високим ступенем автоматизації можуть служити земляні роботи, переміщення вантажів, бетонування. При цьому найнижчий відсоток автоматизації має процес зведення стін, особливо цегляної кладки. Тут вся робота повинна виконуватися вручну. Це пов'язане з його складністю та різноманітністю. Фактично, в великому переліку будівельних робіт, саме зведення стін та його недостатня механізація є тим «пляшковим горлом», яке обмежує швидкість здачі об'єктів будівництва.

У наш час одним з найважливіших напрямів удосконалення конструкцій будівельних машин є створення універсальних машин із максимальною кількістю змінного робочого обладнання. Вони легші й менш потужні порівняно зі спеціалізованими машинами звичайного розміру, однак для багатоцільового застосування їх можна використовувати з більшою інтенсивністю, ніж спеціалізовані машини. Отже, їх можуть використовувати дрібні підрядники для виконання невеликих обсягів робіт. Однак не можна з упевненістю стверджувати, що подібне обладнання є економічно вигіднішим, порівняно з орендою спеціальних машин або залученням, у разі необхідності, субпідрядників, що спеціалізуються на певному різновиді робіт.

Одним з еталонів автоматизації технологічних процесів є автомобілебудування. Революція у цій галузі відбулася у 70-х роках XX сторіччя: ручна робота на конвеєрах майже повністю була замінена роботами та маніпуляторами. Це дало можливість значно збільшити продуктивність, підвищити якість та точність зборки, знизити собівартість автівок. Зараз відбувається новий виток розвитку у робототехніці. Через вдосконалення сенсорів, контролерів, апаратів керування з'явилася можливість насичення роботизованими механізмами нові галузі виробництва. Роботи замінюють нудну і небезпечну ручну роботу. Сучасний стан робототехніки свідчить про перехід

від простих робочих операцій «захопити – перемістити – опустити» до більш складних концепцій. Сучасні роботи працюють не тільки індивідуально, а й парами або групами. Є навіть випадки відмови від політики суворого відокремлення роботів від співробітників компанії з міркувань безпеки, оскільки сучасні роботи демонструють значно вищий рівень надійності. Інша нова тенденція передбачає співпрацю робота і людини в ситуаціях, що вимагають використання, наприклад, інтуїції.

У світі з'являються нові великі компанії, що виготовляють, в тому числі, спеціалізовані роботи та маніпулятори які намагаються замінити складну ручну працю на будівельному майданчику. Серед них можна відмітити австралійську компанію Fastbrick Robotics та американську компанію Construction Robotics. Над новими розробками працюють в Федеральному технологічному інституті в Цюриху (ETH Zurich), Університеті міста Баффало (США), Гарвардській школі техніки та прикладних наук. Питаннями роботизації на глобальному рівні займається Міжнародна федерація робототехніки (International Federation of Robotics, IFR). Це міжнародна некомерційна організація, яка була заснована в 1987 році з нагоди 17-го міжнародного симпозіуму з робототехніки. Вона об'єднує майже всіх виробників роботів у всьому світі, а також 17 національних асоціацій робототехніки, 11 науково-дослідних установ та 60 виробничих компаній. Головний офіс IFR знаходиться у Франкфурті, Німеччина. Головною місією федерації є сприяння дослідженням і розробкам роботів та їх практичного застосування. Федерація також сприяє співпраці виробників і наукових установ на міжнародному рівні. IFR щорічно публікує дослідження, присвячене робототехніці в усьому світі. Публікація містить детальні статистичні дані, зібрані з 50 країн, розділених за галуззю застосування та типом роботів. IFR також організовує професійні симпозіуми та конференції, які, починаючи з 2010 року, також охоплюватимуть Automatica, міжнародну виставку, орієнтовану на робототехніку та роботизацію, що проводиться кожні 2 роки в Мюнхені.

Міжнародна федерація робототехніки, у своєму звіті World Robotics 2022, визначає основні тенденції застосування роботизованих технологій у світовій промисловості на теперішній час [12]. В цьому документі визначається, що у

2021 році відбулося відновлення сталого впровадження нових роботів у виробництво після падіння під час пандемії у 2019-2020 році (рис. 1.1). В цьому році було додано додаткових 517 тис. одиниць, що на 31% більше, ніж минулого року та значним стрибком у 211% за результатами десятиріччя. Такі інвестиції стали новим рекордом в сучасній історії, що свідчить про постійну роботизацію промисловості та повсякденного життя.

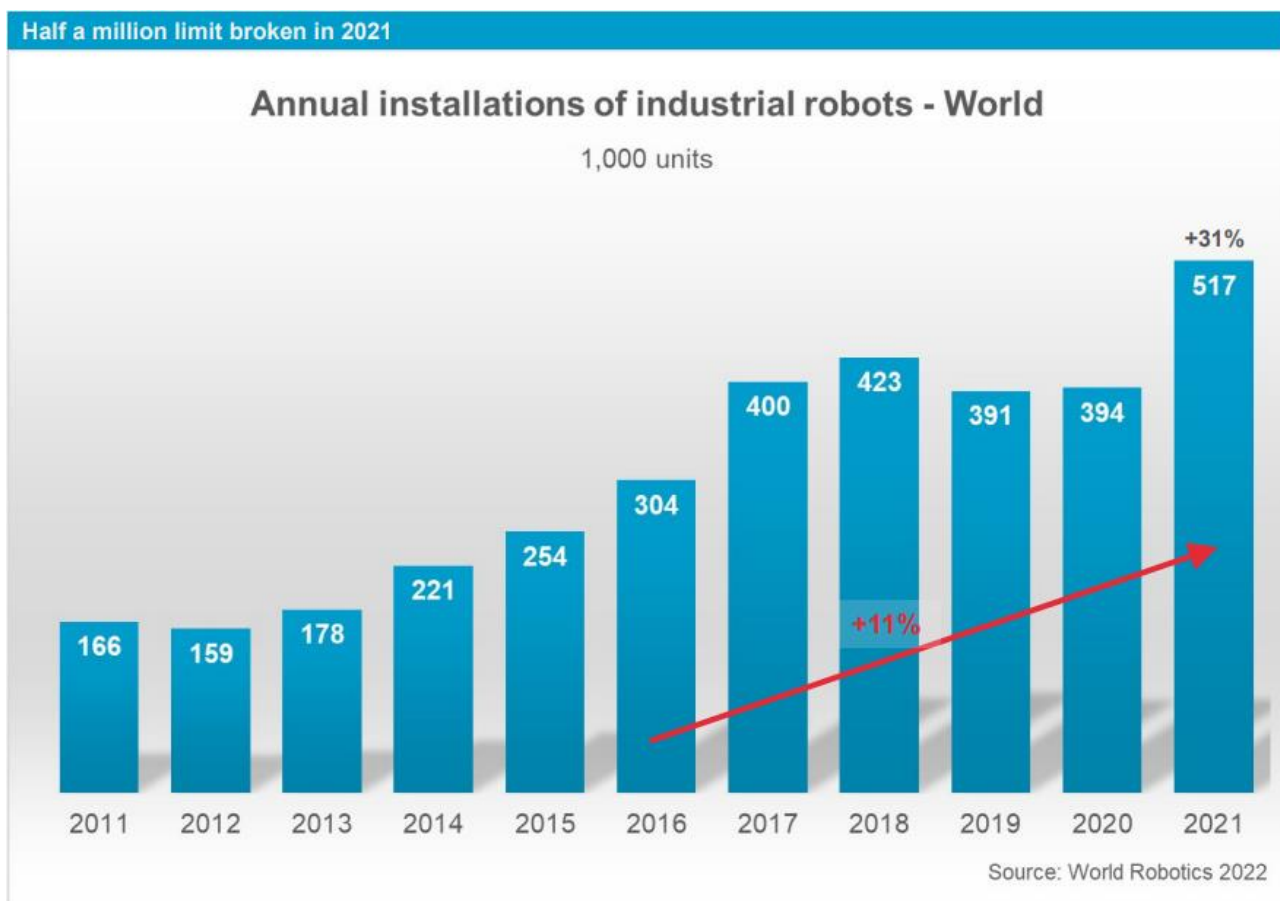


Рис. 1.1. Введення нових роботів в світове виробництво за роками

Якщо розкласти вказану інформацію за галузями (рис. 1.2), то ми бачимо, що найбільше роботів було введено в експлуатацію в електроніці – 137 тис. одиниць (+24%), трішки менше в автомобільній галузі – 119 тис. одиниць (+42%), і далі за зменшенням металургія, хімічна промисловість, харчова промисловість. Нажаль доля будівельної промисловості настільки незначна, що вона навіть не була виділена в окрему категорію.

Розкладка роботів за процесами, які вони виконують, дає результат в якому найбільший розвиток в абсолютних одиницях мають роботи, що виконують

маніпуляції з вантажами – 230 тис. одиниць (+36%), дещо менше роботи-зварювальники – 96 тис. одиниць (38%), потім йдуть роботи, що виконують збірку – 62 тис. одиниць (24%), далі роботи-прибиральники – 32 тис. одиниць (+1%) та роботи, що займаються переробкою – 7 тис. одиниць (+37%).

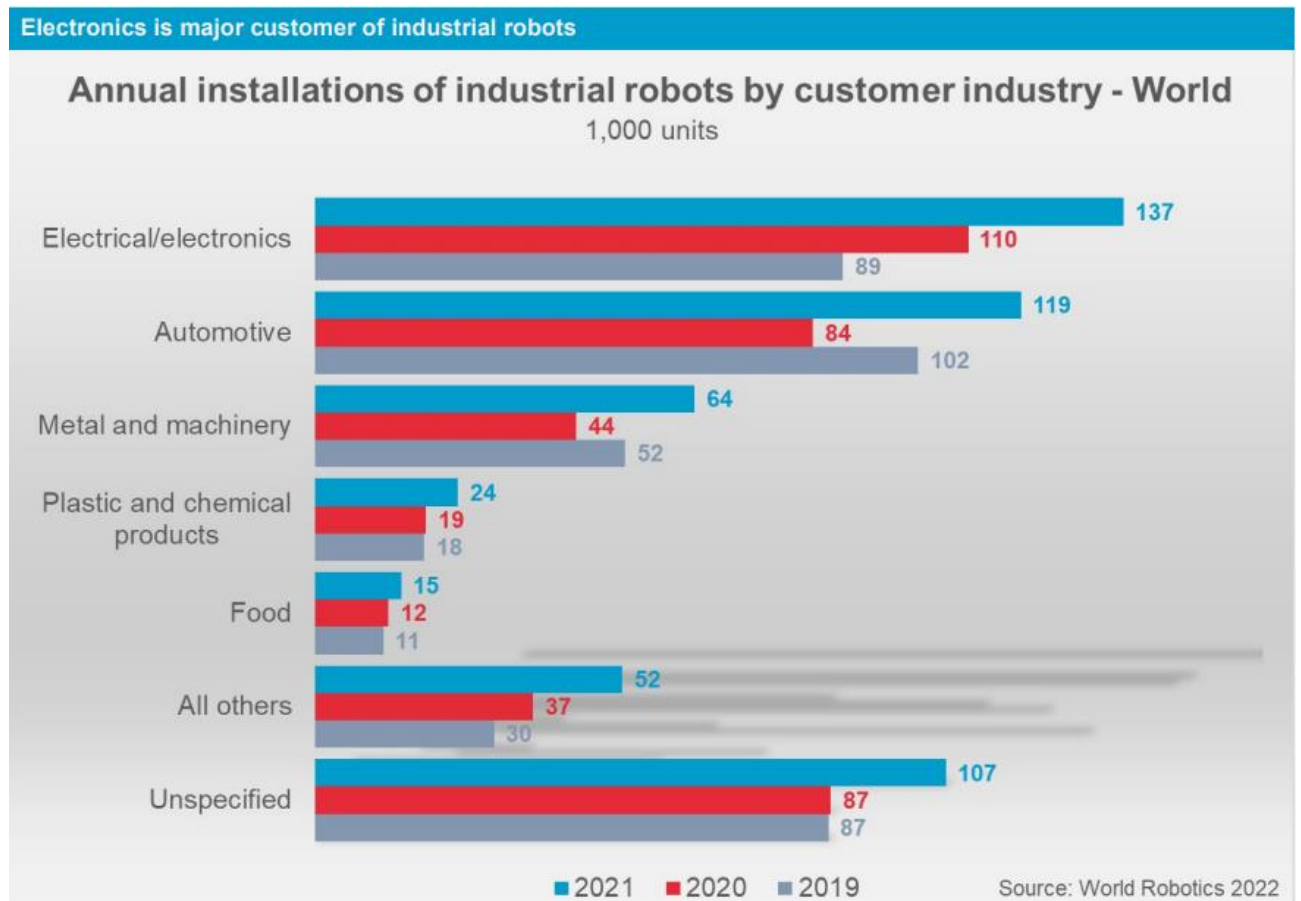


Рис. 1.2. Введення нових роботів в світове виробництво за галузями

Таким чином, автомобільна промисловість з її роботами-маніпуляторами, що виконують функції зварювання займають ведучі позиції у робототехніці. Нажаль будівельні роботи не представлені, це означає, що поки що цей напрям знаходиться у розробці та поки що не набув широких промислових масштабів. Але загальна тенденція роботизації виробничих процесів також чітко просліджується. Це означає наявність можливостей та впевненого досвіду інших галузей.

1.2. Революція в будівництві

У той час як підхід до інформаційного моделювання будівель (BIM) стала важливим фактором цифрової трансформації в будівництві [1], концепція в світі

поступово починає набирати обертів концепція Будівництво 4.0 (Construction 4.0). Сьогодні все ще важко дати їй точне визначення, але експерти одностайні в тому, що це буде велика революція для галузі. Щоб визначити глобальний контекст цієї революції, здається корисним нагадати, що вона бере свій початок у Першій промисловій революції в історії з механізацією, у Другій революції з електрифікацією та в Третій революції з автоматизацією. Четверта промислова революція базується на інформаційних технологіях.

Досі немає міжнародного консенсусу щодо того, що насправді означає концепція Construction 4.0. Деякі автори визначають її як просте впровадження у будівництво глобальної інформаційної мережі (тобто використання сучасних технологій зв'язку для прийняття рішень у режимі реального часу), інші бачать це як засіб пошуку послідовної взаємодоповнюваності між основними технологічними підходами, що виникають у будівельній галузі. Але все ж таки, Construction 4.0 має більш широкий зміст та значення, він виходить за межі склавшихся технологічних рамок, відповідаючи поточним викликам галузі.

Яке б не було визначення, велика зміна, яку привнесла Construction 4.0, здається, обертається навколо децентралізованого зв'язку між фізичним простором і кіберпростором через повсюдне підключення. У будівельній галузі зв'язок між цими двома світами вже існує через такі технологічні підходи, як BIM. Наприклад, можна мати повні числові моделі будівельного проекту і навіть створити двонаправлений зв'язок між будівельним майданчиком і цими моделями. Однак досі необхідна присутність людини для підтримки та керування цим зв'язком. З появою Construction 4.0 низка технологій поступово замінить цю роль людини, щоб зменшити людське втручання та прагнути до децентралізованого злиття між фізичною реальністю та її представленням у кіберпросторі.

Хоча основа Industry 4.0 у багатьох галузях базується на технологіях, які забезпечують постійне підключення до кіберпростору та децентралізоване прийняття рішень у реальному часі, Construction 4.0 не обмежується цими технологіями, а базується на більш широкому спектрі, головними з яких є роботизація та автоматизація будівельного виробництва, хмарні обчислення, і,

звичайно, BIM. Велика перспектива революції Construction 4.0 полягає в майже повній автоматизації всього життєвого циклу проекту. Ця автоматизація передбачає використання цифрових близнюків на кожному кроці, від планування до експлуатації, включаючи проектування та будівництво. На етапі проектування збільшення використання BIM-моделей як цифрових двійників дає змогу перевірити їх за допомогою моделювання фізичного продукту (наприклад, будівлі), його конструктивність і варіанти прибутковості (4D, 5D), а також його стійкість (наприклад, енергетичний аналіз). На етапі будівництва моделі BIM продовжують служити цифровими близнюками, але доповнюються іншими технологіями для автоматизації їх зв'язку з реальністю будівельного майданчика. Це переважно кіберфізичні виробничі системи, включаючи датчики, дрони, вбудовану робототехніку та системи моніторингу. На етапі експлуатації BIM та IT разом з іншими датчиками дають змогу контролювати продуктивність об'єкта та створювати ефективну систему управління профілактичним обслуговуванням.

Розділ 2. Використання існуючих технологій роботизацій та автоматизації зведення будівель

2.1. Hadrian X

Одна з найбільш розвинених систем, що готова з мінімальним втручанням людини перетворювати цифрові проекти у готові будівельні об'єкти - це робот Hadrian X (рис. 2.1), який є розробкою австралійською робототехнічної компанії Fastbrick Robotics Ltd (FBR). Він виконує автоматичне завантаження, різання, маршрутизацію та розміщення всіх цеглин відповідно до комп'ютеризованого проекту.



Рис. 2.1. Робот Hadrian X.

Hadrian X побудований зі сталі, алюмінію та композитів з вуглецевого волокна. Ним керує мережа комп'ютерів, роботизовані відеокамери, серводвигуни та лазерний трекер, який відстежує його положення. При цьому він не потребує спеціалізованого транспортування, оскільки встановлений на шасі вантажівки (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Hadrian X в транспортному положенні.

Згідно з оцінками продуктивності, Hadrian X зможе класти приблизно 1000 цеглин за годину, у порівнянні з 300-400 цеглами на день, які може класти муляр-людина це майже в тричі швидше. Крім того, у поєднанні з його здатністю працювати 24/7 у будь-яких умовах без необхідності перерви, означає, що стандартний будинок можна повністю побудувати всього за два-три дні.

Машина використовує промисловий клей замість традиційного розчину, що збільшує міцність конструкції в чотири-п'ять разів, підвищує теплову та акустичну ефективність будівлі до 70%, а також зменшує час будівництва, оскільки немає затримок в очікуванні застигання розчину.

Hadrian X може похвалитися найсучаснішими системами компенсації, що означає, що незважаючи на рух стріли довжиною 30 метрів і зовнішні фактори, такі як вітер і вібрація, маніпулятор, який фактично ставить цеглину, залишається абсолютно нерухомим, що забезпечує високу ступінь точності.



Рис. 2.3. Виліт стріли Hadrian X довжиною 30 метрів.

Hadrian X розроблений для роботи з універсальним асортиментом цегли розміром до 500 x 250 x 250 мм. Він запроєктований, як повністю автономна система будівництва. Використовуючи спеціальне програмне забезпечення, створюється 3D-модель дому, далі дані передаються в Hadrian X, і машина друкує конструкцію поетапно (рис. 2.4), як на 3D-принтері, включаючи всі види різання та маршрутизації цегли для електричних і сантехнічних послуг, тому фінальна конструкція повністю готова протягом доби. Людські руки не повинні торкатися цегли під час завантаження, різання та кладки. Такий підхід ідеально доповнює BIM технології в проектуванні.

Дверні та віконні рами опускаються зверху після досягнення висоти або встановлюються як роздільні рами після завершення процесу будівництва. Завершені стіни також матимуть канали для розміщення електричної проводки та сантехніки.



Рис. 2.4. Процес «друку» конструкції роботом Hadrian X

Ця технологія є наступною еволюцією для мулярів, що дозволяє їм перейти від трудомісткої та небезпечної практики до роботи операторів машин і контролерів за якістю будівельних робіт, забезпечуючи стійку кар'єру.

Компанія FBR наймає кваліфікованих мулярів для роботи на майданчику, кадрову мережу для повноцінного переходу на нову технологію після її широкого введення в експлуатацію. Перше введення в експлуатацію цих машин планується в Австралії. При цьому буде використана низка різних бізнес-моделей, щоб гарантувати цій 3D-системі автоматизованого будівництва потрапляння в мейнстрім у якомога більшій кількості країн. Hadrian X коштуватиме приблизно 2 мільйони австралійських доларів за одиницю.

Технологія повністю захищена патентом у США, Китаї, Австралії, Канаді, Великобританії та ЄС .

В своїх розробках компанія FBR співпрацює з австрійською корпорацією будівельних матеріалів Wienerberger AG, яка оголосила, що перший будинок був завершений за допомогою робота Hadrian X. Будинок був побудований у Велларді, Австралія, з цегли Porotherm виробництва Wienerberger.



Рис. 2.5. Будівництво будівлі роботом Hadrian X компанією Wienerberger AG у Велларді (Австрія).

У прес-релізі, який оголосив про завершення будівництва, Хаймо Шойх, генеральний директор Wienerberger, прокоментував: «[Ми] хочемо внести свій внесок у те, щоб майбутні покоління мали ті ж можливості, що й ми сьогодні. ...Як провідний міжнародний постачальник будівельних матеріалів та інфраструктурних рішень, наша пропозиція полягає не тільки в тому, щоб пропонувати продукцію першокласної якості, але й максимально ефективно використовувати ресурси при їх виробництві».

Wienerberger і FBR підписали угоду про партнерство в 2018 році саме з метою розробки Wienerberger спеціалізованих рішень для цегляної кладки з

використанням Hadrian X, які в кінцевому підсумку можуть бути використані для житлових проєктів.

Робот Hadrian X – це чудовий приклад повністю автоматизованої системи зведення будівлі. Слід відмітити, що не зважаючи на універсальність маніпулятора, який готовий працювати з будь-яким типом цегли, є зацікавленість у розробці та виготовленні лінійки спеціалізованих будівельних матеріалів: цегли та клею. Крім того, маніпулятор робота, завдяки застосуванню технології динамічної стабілізації здатен виконувати не лише функцію кладки, а також зварювальні роботи, транспортування, монтаж та будь-яку іншу роботу на будівельному майданчику.

При цьому слід відмітити також і негативні сторони. Цей робот має обмеження у висотності будівель, що зводяться. Він зорієнтований на малоповерхове будівництво, а враховуючи його значну вартість, окупність його використання досить сумнівна. Крім того, він не має гнучкого масштабування. Тобто збільшення кількості таких машин на одному будівництві не може призвести до підвищення продуктивності праці, оскільки робот потребує простору. Два або три роботи працюючи одночасно будуть заважати один одному.

2.2. Напівавтоматичні роботи компанії Construction Robotics

Компанія Construction Robotics виготовляє механізми для допомоги мулярам, з метою полегшення їх важкої праці. Так, цією компанією виготовляються підйомники Mule (Material Unit Lift Enhancer) для підйому та переміщення важких блоків під час кладки. Він має вантажопідйомність до 60 кг та оснащений захватом, стрілою та підйомним механізмом (рис. 2.6). Кожна така машина обслуговує окрему ділянку муляра, не перешкоджаючи роботі суміжним пристроям. Mule покращує безпеку та ефективність праці мулярів. Дослідження виробника показали, що використання його обладнання для кладки 32 дюймових блоків підвищує продуктивність вдвічі. З іншими будівельними матеріалами продуктивність збільшується від 75% до 7 разів [10].



Рис. 2.6. Підйомник Mule від компанії Construction Robotics

Інша інноваційна розробка, яку пропонує компанія Construction Robotics – напівавтоматичний робот SAM (Semi-Autonomous). Він являє собою систему кладки цегли, яка складається з самохідного візку з встановленим маніпулятором, систему подачі цементного розчину та системи подачі цегли (рис. 2.7). При цьому SAM призначений не замінити працівників, а допомогти їм виконуючи найбільш втомливу та важку роботу з кладки цегли.



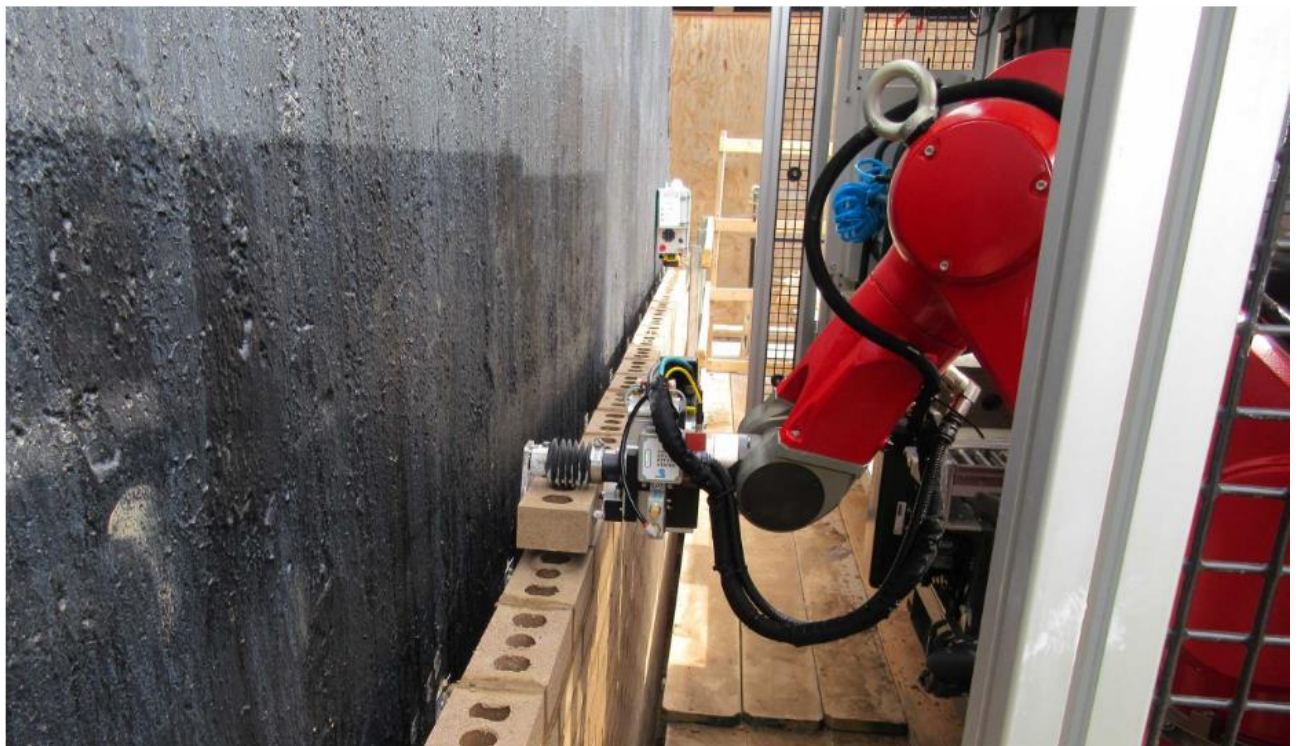
Рис. 2.7. Система кладки цегли SAM.

Приклад застосування напівавтоматичної системи – це проект з демонтажу та заміни зовнішнього цегляного оздоблення Федеральної будівлі Річарда Х.

Поффа (рис. 2.8-2.10). Це висотна будівля, яка використовується в основному для офісів, але також містить зали судів і спеціалізовані приміщення для правоохоронних органів. Будівля має 14 поверхів, вміщує 750 співробітників і має 75 внутрішніх паркувальних місць і 114 відкритих місць.

Проект включав у себе видалення всієї існуючої цегли на 14 поверхах, встановлення нової цегли, відновлення покриття гаража, ремонт розколотого та зношеного бетону та встановлення елементів безпеки по периметру, включаючи шлагбауми для транспортних засобів, під'їзні ворота та огорожі. Проект був реалізований поетапно, щоб мінімізувати вплив на орендарів будівлі та повсякденну роботу, при забезпеченні безпеки будівлі.

Щоб завершити проект, був використаний робот-укладальник цегли SAM, який замінює працю шістьох мулярів.



**Рис. 2.8. Робот-укладальник цегли SAM в проекті оздоблення
Федеральної будівлі Річарда Х. Поффа**

Проект вимагав встановлення 470 000 цеглин на східній і західній сторонах будівлі. Ця система здатна класти приблизно 3000 цеглин на день. Для монтажу було використано приблизно 3345 мішків розчину та 478 тон піску. Крім того,

було встановлено приблизно 945 рядів цегли від цегляного виступу на землі до верхньої частини парапету на даху будівлі. SAM використовувався для встановлення цегляної кладки на головних стінах на східному та західному фасадах. Роботом керує комп'ютер, для роботи потрібні технік і два муляри.

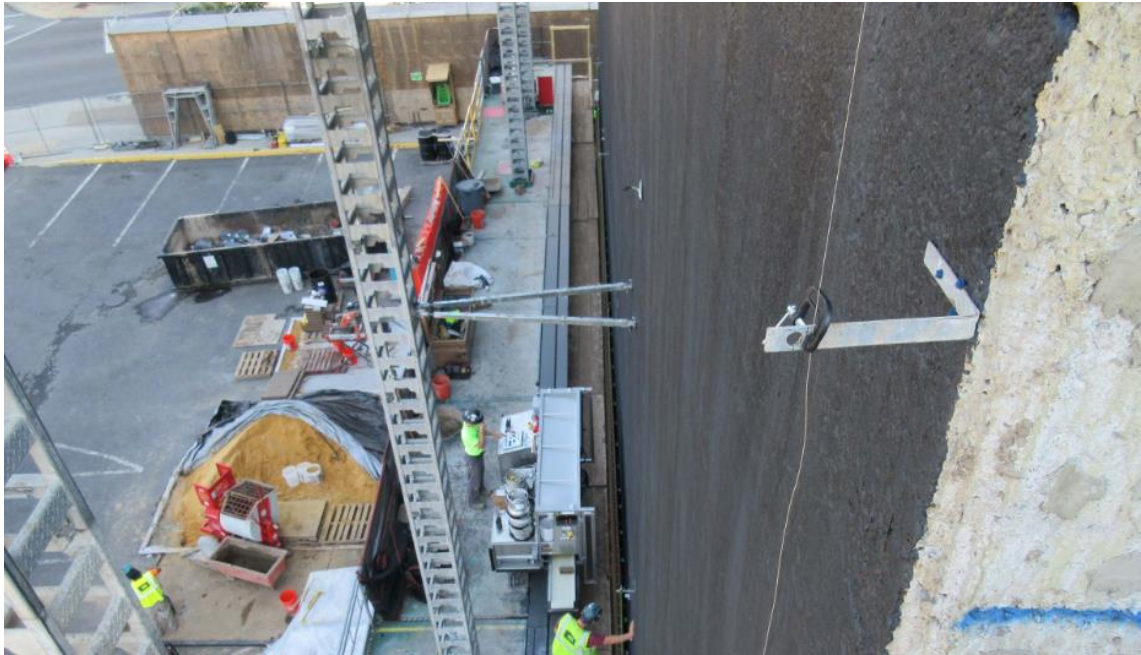


Рис. 2.9. Встановлення направляючих опор для робота SAM.



Рис. 2.10. Федеральна будівля Річарда Х. Поффа після реконструкції.

Значною перевагою системи SAM є її відносна простота та не висока вартість. Але разом з тим вона не забезпечує повністю автономну роботу, постійно needing у обслуговуванні двох мулярів. Проекти в яких брала

участь SAM – це перш за все зовнішнє оздоблення будівель, при цьому не зовсім зрозуміло, як буде поводити ця системи при виконанні більш складних завдань.

Позитивним в системі від компанії Construction Robotics – є можливість працювати з висотними об'єктами, але при цьому залишається вимога у встановленні спеціалізованих опорних площадок.

2.3. Робот-носій OSCR-3

Розглядаючи роботизацію будівельних процесів ми перш за все робимо акцент на процесі зведення стін. Але при цьому залишається відкритим питання постачання до роботизованих систем будівельних матеріалів. Без цього важливого елементу не вдасться досягти дійсно повної автономії будівництва.

Група робототехніки Rust Belt з Університету Баффало, штат Нью-Йорк, розробляє гуманоїдних роботів, які допомагатимуть будівельним бригадам. Керівник проєкту доцент кафедри архітектури Майкл Сільвер. Свій прототип вони назвали OSCR-3 (On-Site Construction Robots, 3-я генерація) [8].

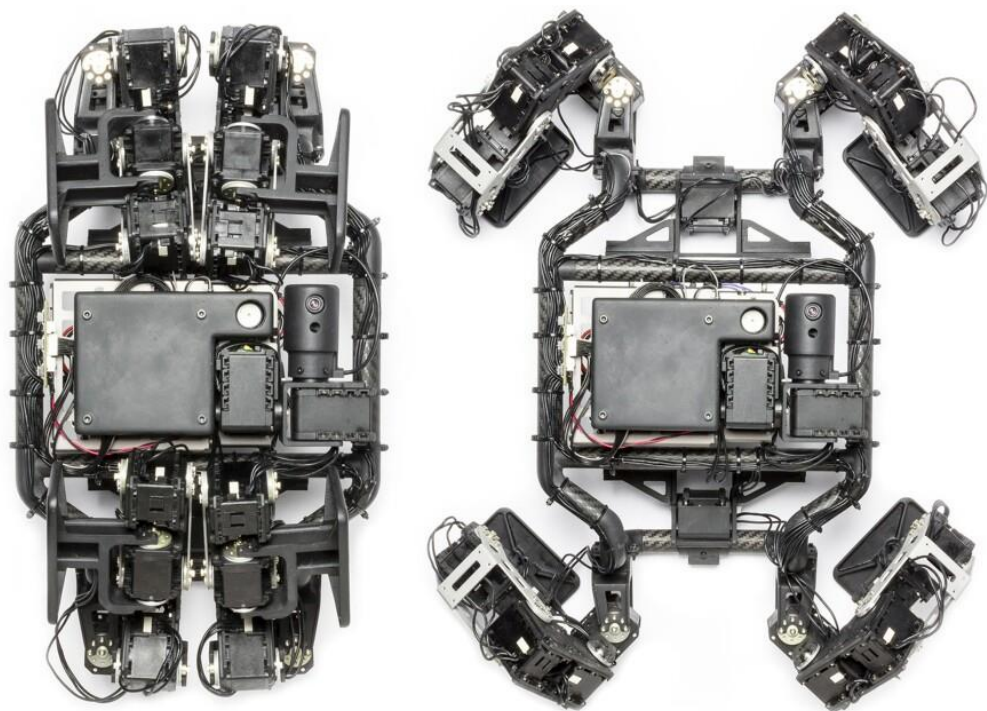


Рис. 2.11. OSCR-3 у похідному (ліворуч) і розгорнутому (праворуч) положеннях.

OSCR-3 – це гуманоїдний робот який взаємодіє з людьми в динамічному середовищі. Планується можливість використання цілої групи таких роботів для

виконання всією важкої праці по переміщенню матеріалів на будівельному майданчику (рис. 2.12).

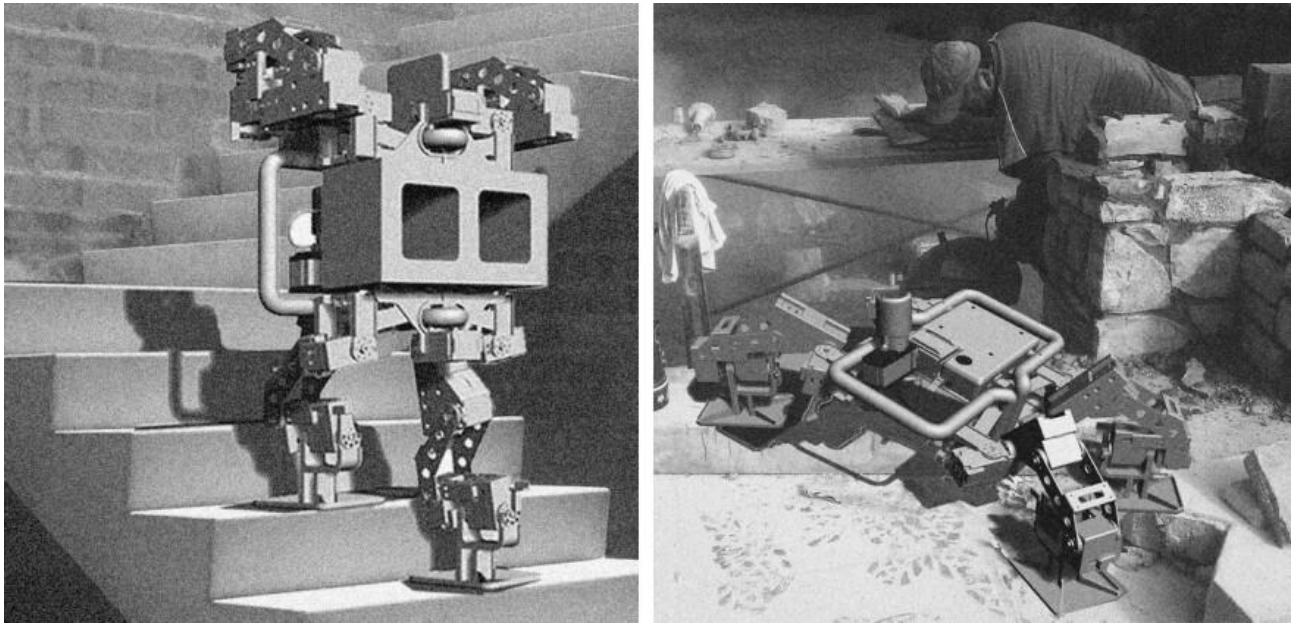


Рис. 2.12. OSCR-3 в процесі виконання поставлених завдань.

Хоча багато дослідників змагаються за розробку будівельних роботів, Сільвер, робототехнік-самоучка, та його команда консультуються з підрядниками та профспілками, щоб переконатися, що їхні роботи матимуть певну цінність для галузі. Завдяки цим дискусіям вони зрозуміли, що будівельники стурбовані тим, що роботи витіснять їх. У результаті Сільвер підкреслює, що його дослідження спрямовані на соробототехніку, тобто машини працюють разом з людьми, а не окремо, і зосереджуються на тому, щоб зробити людей продуктивнішими та більш прибутковими.

За останні два роки Rust Belt Robotics створила три покоління невеликих, але дедалі складніших прототипів андроїдів. Перший OSCR підняв легку цеглину з АБС-пластику, надруковану на 3D-принтері, зробив кілька кроків, а потім поставив цеглину в точному місці. Друга версія підняла три АБС-цеглини та зробила крок угору заввишки 1 дюйм. Третій OSCR ходив на чотирьох ногах для більшої стабільності та міцності, переносив і розгортав легкі цеглини стандартного розміру. Він також переміщався в лабораторному просторі групи та відстежував інші цеглини з кольоровим кодуванням за допомогою

відеокамери, вбудованої в структуру з вуглецевого волокна, і програмного забезпечення.



Рис. 2.13. OSCR-3 у чотириступінчатому режимі, що несе стандартну цегляну кладку.

Зараз команда будує свій четвертий прототип – двоногого робота, який може використовувати свої руки, щоб захоплювати та складати блоки піщанику, вирізані гідроабразивним методом. Завдяки Wi-Fi ця більша машина поєднує в собі можливості попередніх OSCR із можливістю 3D-сканування простору та передачі інформації, наприклад польових умов і фотографій прогресу, зроблених її відеокамерою, людям, яким вона допомагає.

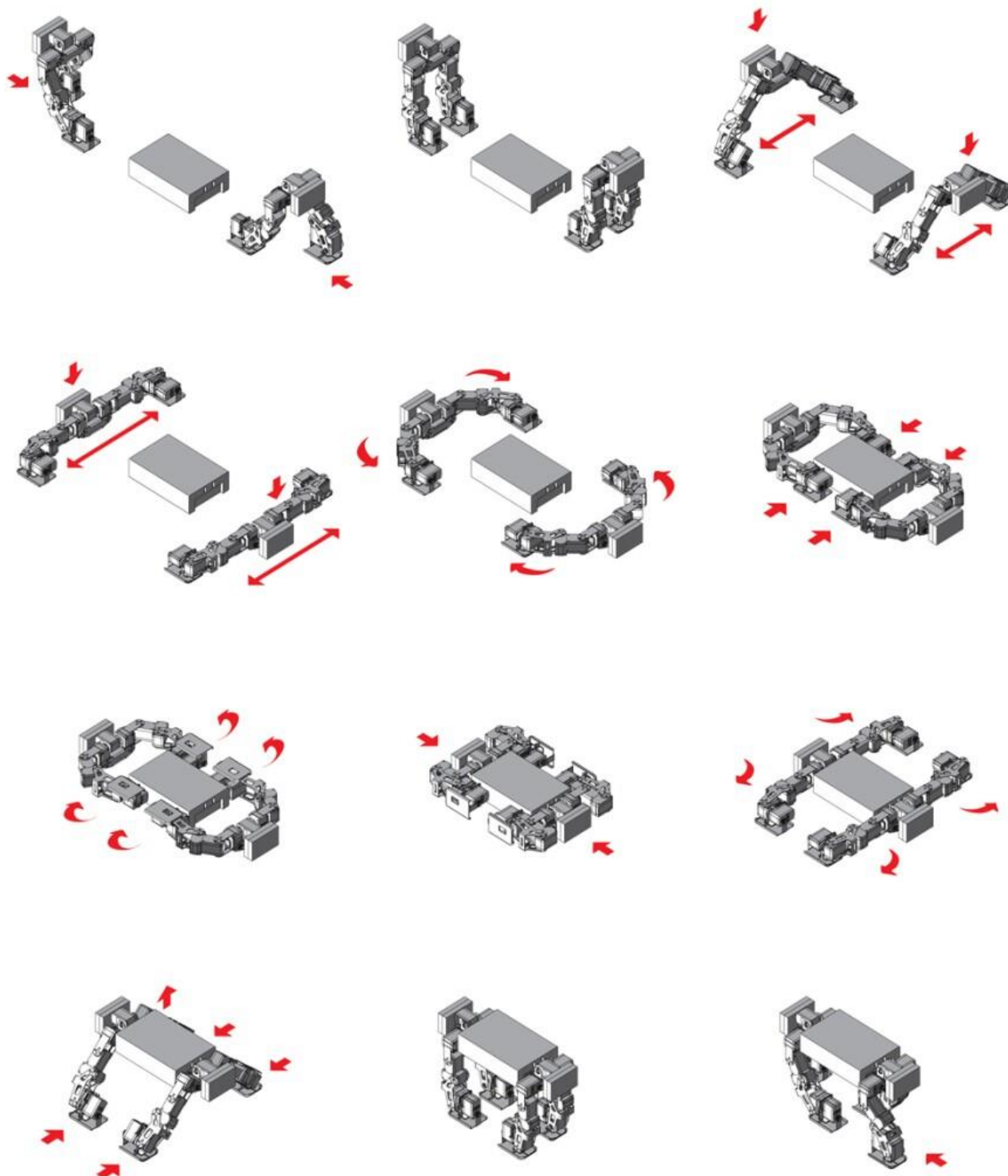


Рис. 2.14. Пара OSCR-2, що працюють разом.

Сільвер каже, що він міг би підвищити інтелект і функціональність роботів, запрограмувавши їх на передачу BIM-даних на робочий майданчик і з нього членам команди – людям або андроїдам. «Я хотів би шукати нові способи інтеграції робототехніки з хмарним середовищем», - каже він. Зараз Rust Belt Robotics веде дослідницьку роботу разом із багатьма партнерами, щоб удосконалити та розгорнути OSCR на фактичному робочому місці.

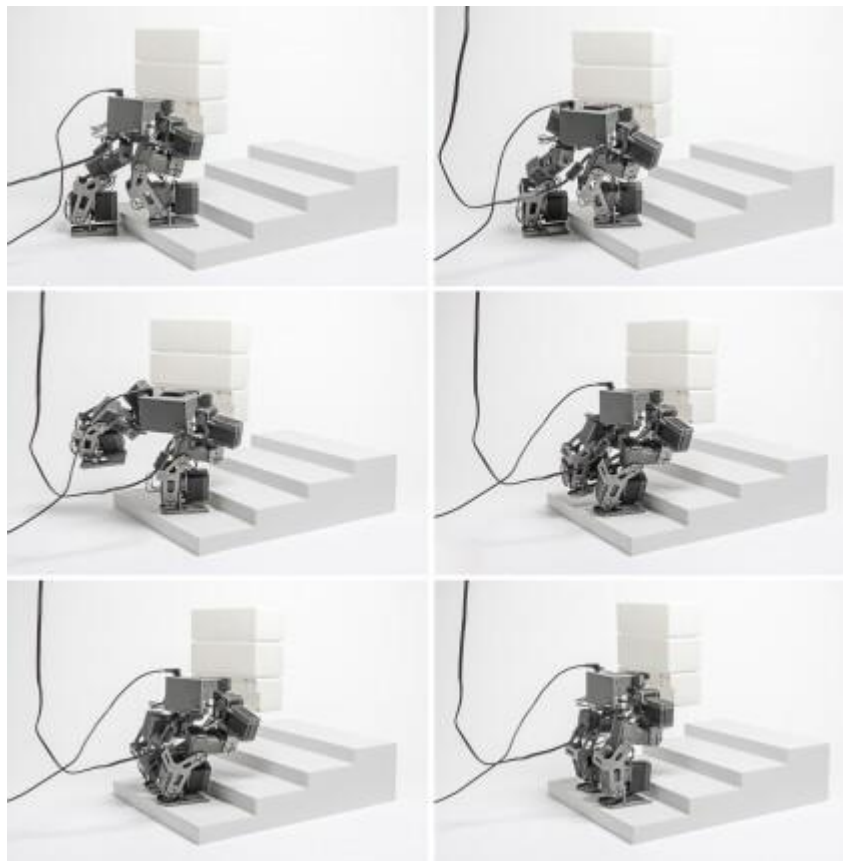


Рис. 2.15. Підйом по сходинках.



Рис. 2.16. OSCR-3 стоячи на двох ногах

В проєкті OSCR-3 дуже цікаво те, що роботи розглядаються працюючими в групі, але, що дуже важливо – вони повинні не просто не заважати один одному, вони повинні співпрацювати, і в цьому їх унікальність. Тут присутній великий потенціал масштабування, адже перед андроїдами може бути поставлене завдання, з яким вони можуть впоратися виключно командно. Наприклад, для переміщення великогабаритних елементів не потрібно винаходити нові унікальні захвати, достатньо об'єднати в групу двох, трьох або чотирьох роботів.

2.4. Автономний будівельний робот In-Situ Fabricator

Роботизоване будівництво дозволяє поєднати будівельне інформаційне моделювання та зведення будівель. Для цього потрібно максимально використовувати досвід впровадження робототехніки в інших галузях. Будівництво за допомогою мобільної будівельної робототехніки стало метою кількох досліджень Національного центру компетенції в галузі цифрових досліджень (The National Centre of Competence in Research (NCCR) Digital Fabrication, Switzerland) [9].

Щоб мати можливість працювати на будівельному майданчику, робот повинен:

- бути мобільним, надійним та точним;
- мати можливість визначати своє положення на будівельному майданчику;
- адаптуватися до невизначеностей.

Ці питання вже були предметом попередніх досліджень, включаючи докторську дисертацію Фолькера Хелма. Результатом цього початкового проєкту, виконаного на кафедрі архітектури та цифрового виробництва, стала платформа «dimRob», яка включала руку промислового робота, встановлену на мобільній гусеничній системі з дизельним двигуном. Робот міг пересуватися різними місцевостями, маніпулювати матеріалами та інструментами для будівництва, а також був оснащений системою сканування для керування допусками на будівництво. Однак функціонування «dimRob» все ще вимагало значної взаємодії з людиною: оператор мав керувати роботом, стабілізувати та локалізувати його вручну, перш ніж його можна було побудувати.

Мета нової міждисциплінарної співпраці полягає у виведенні цієї роботизованої платформи на наступний рівень із перетворенням платформи на автономного робота – «In-situ Fabricator» (рис. 2.17). Ця доповнена система зменшить потребу в ручному введенні та зможе точно будувати складні конструкції з допусками на рівні міліметра, водночас маючи можливість мати справу з невизначеністю будівельного майданчика.



Рис. 2.17. Автономний будівельний робот In-Situ Fabricator.

Тімоті Сенді, аспірант лабораторії Agile & Dexterous Robotics Lab (ADRL), ETH Zurich, пояснює, що «система повинна покладатися виключно на вбудовані датчики та обчислення». Це важлива відмінність від його попередника та серйозна проблема розвитку. Разом зі своїми колегами Маркусом Гіфтталером, аспірантом ADRL, і Кетрін Дьорфлер, аспірантом кафедри архітектури та цифрового виробництва, Сенді є частиною міждисциплінарної команди проекту, сформованої в рамках NCCR Digital Fabrication. Ця дослідницька ініціатива, фінансована Швейцарським національним науковим фондом (SNSF), дозволяє здійснювати міждисциплінарне співробітництво та виконувати проекти, які не можуть бути реалізовані в рамках окремої галузі.

Рука робота оснащена лазерним далекоміром. Коли робот змахує рукою, лазер вимірює точки в просторі, щоб створити 3D-карту свого оточення (рис. 2.18). Ця карта реєструється на основі початкового сканування контексту, щоб обчислити позицію робота.

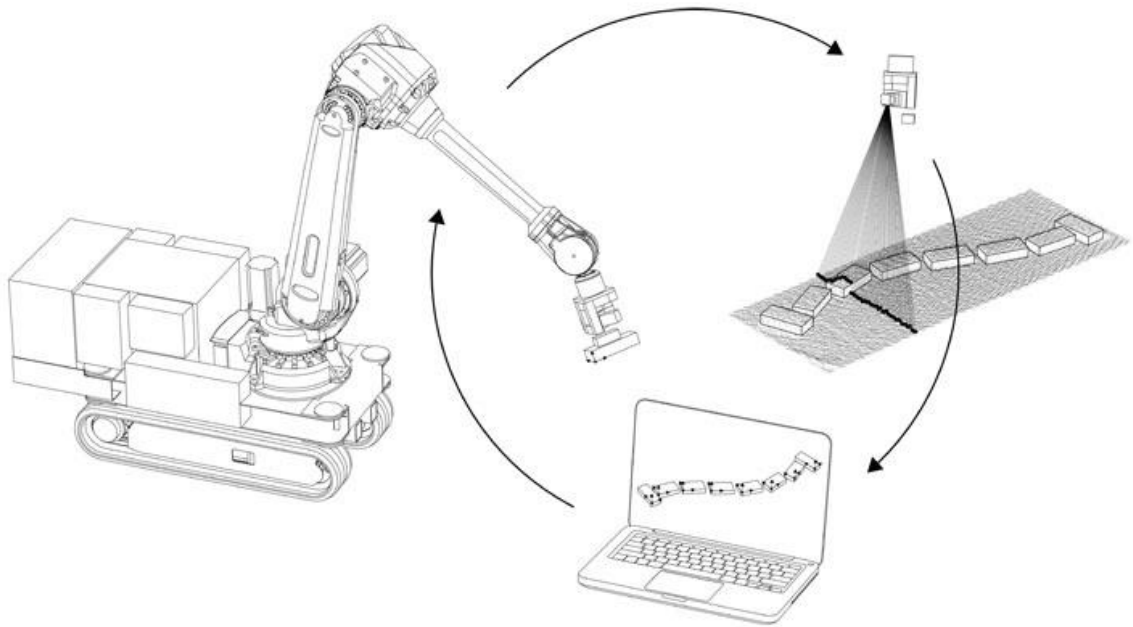


Рис. 2.18. Позиціонування робота In-Situ Fabricator.

Одним із великих викликів була розробка точної системи локалізації. Запропонований метод використовує 2D-широкий лазерний далекомір, який сканує оточення, щоб створити 3D-карту його контексту. Потім ця карта порівнюється з попередніми скануваннями простору, щоб обчислити положення робота (рис. 2.19). Ця технологія дещо схожа з технологією позиціонування комп'ютерної мишки. Подібна петля зворотного зв'язку сканування та вимірювання також використовується, щоб впоратися з допусками конструкції: шляхом порівняння сканування хмари точок існуючого стану конструкції з CAD-моделлю конструкції, яка буде побудована, робот і його системи керування можуть визначити будь-які невеликі відхилення від проекту та внести зміни в процесі будівництва.

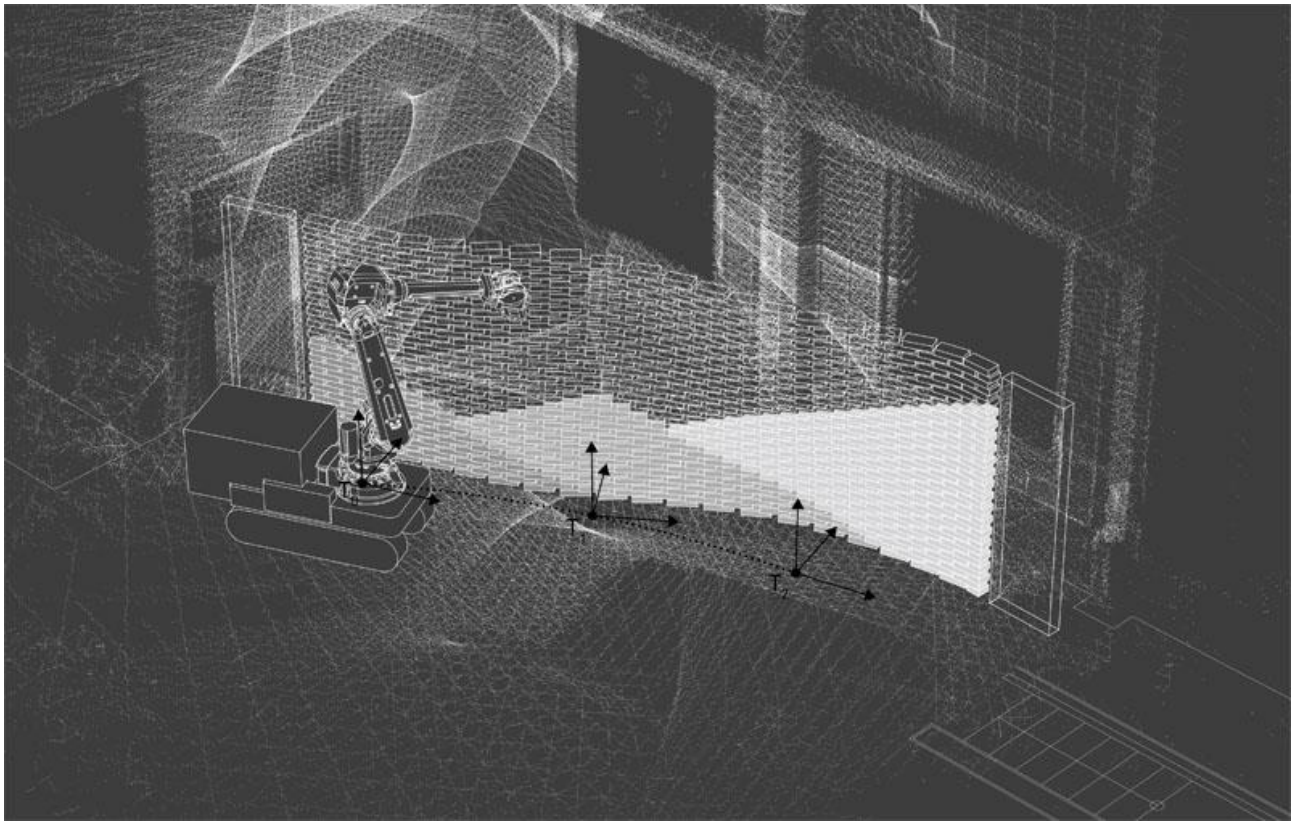


Рис. 2.19. Сканування простору з накладанням в ньому проєкту цегляною стіни.

Все це виглядає так, ніби «In-situ Fabricator» вже готовий до виходу на виробництва. Однак, за словами дослідників, технології та процеси поки що «примітивні». Сенді пояснює: «На даний момент можна вважати, що робот «працює всліпу». Це означає, що після того, як він перемістився, він більше не усвідомлює свого положення і спочатку повинен знову локалізувати себе. «У майбутньому робот повинен постійно усвідомлювати своє положення, навіть коли він у русі, і бути здатним до стабільної та точної конструкції». Лише тоді буде досягнуто повне поєднання цифрового дизайну з фізичним процесом будівництва.

В концептуальному сенсі проєкт робота «In-situ Fabricator» відкриває поняття роботизованої платформи. Тобто розробляється деяка база, яка виконує базові функції автономного переміщення та локалізації з наявністю маніпулятора. За потребою цю платформу можна насичати необхідним функціоналом: зварювати, переміщувати вантажі, заповнювати бетоном, виконувати функції 3D принтера, класти цеглу тощо.

Хоча слід відмітити, що в цьому проєкті поки що навіть не ставиться питання можливості використання цих роботів у висотному будівництві.

2.5. Роботи Termes

Природа дає нам вражаючі приклади тваринного будівництва. Будь яка жива істота будує свій дім за технологіями, які відточувалися протягом тисячоліть. Незважаючи на високий технічний розвиток людства, нам все ще є чому навчатися у будівельників тваринного світу.

Одні з найдивовижніших «комах-будівельників» - це терміти. Вони зустрічаються на всіх континентах, крім Антарктиди. Маленькі створіння, які живуть величезними сім'ями, здатні будувати такі неймовірні будинки, що їм можуть позаздрити куди більш високорозвинені представники тваринного світу. Термітник – це ціле інженерне спорудження зі складною системою вентиляції, окремими приміщеннями і навіть грибними садами [20] (рис.2.20).



Рис. 2.20. Великий термітник.

Надихаючись вмілою та злагодженою працею термітів, команда вчених міждисциплінарного дослідницького інституту Гарвардського університету (Wyss Institute Harvard University) розробила автономну робототехнічну систему для тривимірного колективного будівництва TERMES [11]. Це перший крок

авторів на їх шляху до автоматизованого будівництва зграями роботів. Система складається з мобільного робота та спеціалізованих пасивних будівельних блоків; робот може автономно керувати блоками, будувати з них структури та маневрувати на цих структурах, а також у неструктурованому середовищі (рис. 2.21).

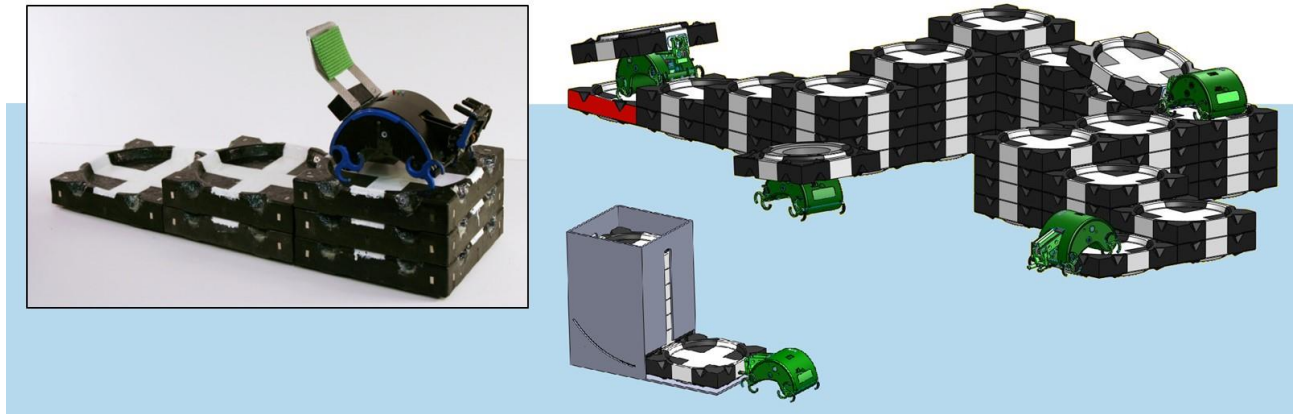


Рис. 2.21. Огляд системи TERMS.

Декілька ключових особливостей характеризують цей підхід. Структури можна будувати в масштабах, набагато більших, ніж у роботів, які їх будують, у трьох вимірах із силою тяжіння. Робот розроблено з філософією простоти: він повинен виконувати лише кілька основних завдань, має відносно мало датчиків і приводів (10 і 3 відповідно) і реагує лише на місцеві умови. Роботи діють незалежно, реагуючи за необхідності на присутність інших, але кожен виконує свої завдання та здатний побудувати всю конструкцію самостійно. На цей вибір впливають соціальні колонії комах, які надихають нашу роботу. Нарешті, проектуючи роботів і будівельний матеріал разом, ми можемо включити в них пасивні елементи, щоб використовувати «механічний інтелект». Це підвищує надійність і дозволяє роботам надійно виконувати свої завдання, залишаючись простими. Разом ці функції забезпечують підхід, який, на думку авторів, може бути корисним для систем автоматизованого будівництва з використанням роїв роботів.

Для колективного будівництва великомасштабних конструкцій потрібні роботи, які можуть маніпулювати будівельними матеріалами, а також маневрувати над і навколо конструкцій, які вони з них створюють. Хоча

робототехніка роїв і мобільні маніпуляції є дуже великими дослідницькими напрямками, існує достатньо мало робіт, де вони перетинаються.

Фізична реалізація таких систем була сильно обмежена. Алгоритмічні, а також апаратні дослідження зіткнулися з проблемами надійного застосування у практиці, наприклад, через припущення про обмеження руху робота, які важко реалізувати, проблеми з надійністю механізмів кріплення або гравітаційні труднощі для 3D-систем. Відповідно більшість систем залишаються лише в симуляції. Для 3D-систем із роботами-скелелазами попередні демонстрації не перевищували кількох кроків і розміщення блоків.

Команда Гарвардського університету розробила апаратну систему для автономного будівництва суцільних 3D-конструкцій в умовах нормальної гравітації разом із прикладом алгоритму, за допомогою якого мультироботна версія може автоматично будувати бажані структури, маючи наступні особливості:

- зондування повністю бортове, без глобальної інформації, як-от GPS або загального стану конструкції;
- роботи створені для того, щоб діяти незалежно, під повністю децентралізованим контролем;
- зразкова структура, створена для ілюстрації можливостей системи, демонструє високу надійність, що вимагає довгої послідовності успішних дій, що виконуються протягом тривалого періоду автономної роботи.

Запропонована система – це перенесення в будівництво технології колективної децентралізованої роботи термітів, де багато простих комах одночасно працюють над створенням великомасштабних структур. Роботи в цій системі ідентичні, незалежні та діють лише на основі локальної інформації. В якості основного будівельного матеріалу розроблені та використовуються квадратні збірні блоки спеціальної форми. Ними легше керувати роботам, використовуючи їх у будівництві прямолінійних конструкцій. Роботи мають меншу ширину, ніж блок. Вони можуть маневрувати поверх стіни завширшки в один блок, повертатися на місці та підніматися або опускатися на висоту одного

блоку. Будуючи сходи з блоків, роботи можуть підніматися на більшу висоту та будувати складні споруди, набагато більші за них самих.

Як першу фізичну реалізацію цього підходу представлено апаратну систему з одним роботом, що демонструє автономне будівництво десятиблокової структури. Ця мета вимагає від робота здатності виконувати три види завдань:

- 1) підніматися на блок, щоб досягти вищих рівнів споруди;
- 2) навігацію на конструкції, яка включає підзавдання безпечного маневрування структурою без падіння та відстеження її руху відносно конструкції;
- 3) підйом, перенесення та кріплення блоків до конструкції.

Крім того, кожне завдання має виконуватися з високою надійністю, щоб автономний робот міг успішно побудувати складну конструкцію, що включає велику кількість окремих дій.

Основним критерієм при розробці ефективного скелелазного робота полягав у тому, щоб він міг лазити по блоках якомога вище, щоб структура заданої висоти вимагала менше блоків. Крім того, робот повинен пересуватися по рівних поверхнях як на конструкції, так і поза нею не потребуючи додаткового обладнання чи складних процедур керування. Важливу роль в цьому грає конфігурація рушіїв. Автори розглянули декілька варіантів з встановленням коліс різного розміру, маніпуляторів, гусеничних траків, а також їх взаємним поєднанням (рис.). Тестовий робот використовував повний привід; довжину основи та її відстань над землею можна було регулювати, а для регулювання розподілу ваги використовували три гирі по 45 г (загалом, центр маси нижче від землі та ближче до передньої частини робота дозволяв йому підніматися на вищі блоки). Він був з автономним живленням і контролером. Кожна з апаратних конфігурацій проходила наступні тести.

Максимальна висота підйому: у робота було 30 с, щоб піднятися на блок заданої висоти. На рисунку 2.22 вказаний найвищу висоту, для якої 8 із 10 випробувань були успішними.

Самовирівнювання: під час наближення до найвищого блоку, на який він зміг піднятися під час попереднього випробування, робот був зміщений на 15

градусів від перпендикуляра. На малюнку показано максимальний такий кут, на який робот повернувся до перпендикуляра під час підйому у 8 із 10 випробувань.

Плавність ходу: робот був налаштований на рух прямо 30 см на рівній поверхні без зворотного зв'язку; рівномірність руху оцінювалася візуально за шкалою від 1 до 5 (5 означає дуже плавний рух, 1 відповідає важким вертикальним хитанням). Вертикальна гладкість бажана для узгодженості умов для візуального зворотного зв'язку та маніпулювання блоками.

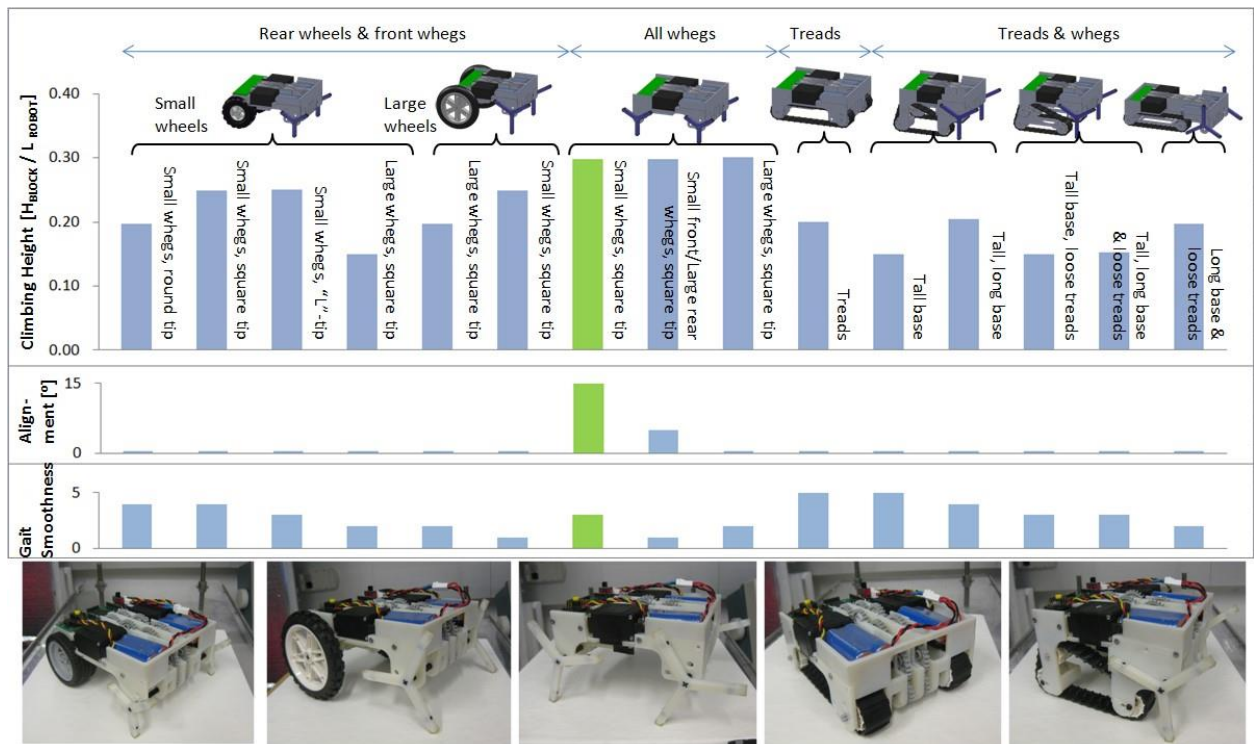


Рис. 2.22. Продуктивність різних апаратних конфігурацій тестового робота: верхній графік – висота найвищого блоку, на який робот зміг успішно піднятися у 8 із 10 випробувань, відносно власної довжини робота; середній графік - максимальний кут нахилу робота; нижній графік - якісна оцінка плавності ходу на рівній поверхні (5 – найплавніший хід, 1 – найбільше хитання).

Ґрунтуючись на результатах цих досліджень, обрана конфігурація з чотирма невеликими маніпуляторами (на рисунку 2 показано зеленим кольором), завдяки їхній здатності підніматися на найвищі блоки та механічно

вирівнюватись із конструкцією під час підйому, з прийнятною гладкістю на рівній поверхні. Для кращого підйому робота на вже встановлений блок, при використанні рушіїв-маніпуляторів, у краях блоків зроблені спеціальні виїмки (рис. 2.23), які діяли як сходинка, що дозволяла роботам підійматися на ще вищі блоки, і допомагало виправляти бічні зміщення. Таким чином, робот, зміщений в одну сторону, ковзав назад до центру виїмки. Також, згодом, маніпулятори отримали вигнуту форму (рис. 3), щоб покращити здатність робота повертатися на місці, щоб уникати падіння з конструкції під час повороту. Хоча ця зміна має побічний ефект – незначне зменшення максимальної висоти підйому. Остаточна висота блоків становила 21% їх довжини, або 26% довжини робота.

Використання маніпуляторів також дозволяє роботу пересуватися по пересіченій місцевості. Для дослідження цієї можливості, робот був змушений рухатися прямо вперед у відкритому циклі різними неструктурованими місцевостями, при цьому визначався час, юув потрібен для подолання 1,2 м, з 5 випробуваннями для кожної умови: лінолеум ($9,5 \pm 0,5$ с), берберський килим ($10,2 \pm 0,1$ с), ґрунт з рослинним опадом ($11,0 \pm 0,4$ с), гравій (14 ± 1 с, на гальці діаметром $\sim 25 \pm 10$ мм), трава ($14,9 \pm 0,9$ с), сніг (18 ± 3 с).

Остаточний дизайн дозволяє роботу підніматися та самовирівнюватись під час сходження з мінімальною складністю керування та обладнання. Крім того, основна дія робота простий рух вперед – ідентичні для лазіння та пересування по площині.

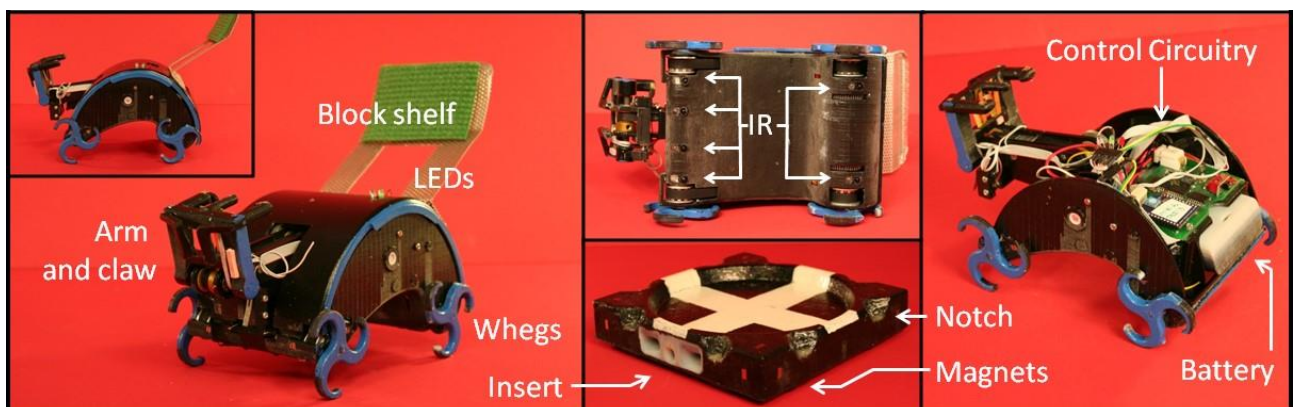


Рис. 2.23. Конструкція робота та блоку.

Наступна важлива вимога для автономного робота – навігація. Завдання навігації вимагає, щоб робот маневрував на вершині конструкції, включно з рівним рухом, поворотом і підйомом вгору або вниз, при цьому точно відстежуючи своє положення та орієнтацію щодо конструкції.

Щоб забезпечити зворотний зв'язок щодо положення, на животі робота додано 6 активних інфрачервоних (ІЧ) датчиків, а блоки пофарбовані в чорний колір із білими хрестами (рис. 3). Цей шаблон надає роботу інформацію про його положення та орієнтацію відносно блоку. Коли робот знаходиться по центру блоку передом до одного з його країв, чотири ІЧ-сенсори в кутах знаходяться в чотирьох чорних областях, тоді як два передні центральні датчики знаходяться над білою смугою. Кінцевий автомат дозволяє роботу відстежувати свій рух. Наприклад, він може сказати, що перемістився на один блок вперед, коли досягає кінця такої послідовності:

- 1) усі кутові датчики бачать чорне,
- 2) обидва задні датчики бачать біле,
- 3) усі передні датчики бачать біле,
- 4) усі кутові датчики бачать чорний колір.

Під час підйому задні колеса робота часто проковзують, у результаті чого зовнішні передні датчики реєструють чорні до того, як він закінчить підйом на вищий блок. Щоб виявити цей стан і запобігти тому, щоб робот передчасно подумав, що він досяг наступного блоку, ртутний перемикач нахилу надає роботу зворотний зв'язок щодо його кроку.

Робот повертає за допомогою диференціального керування, при цьому один двигун керує двома лівими колесами, а другий – правими. Це необхідно для того, щоб робот міг надійно повертатися на місці на блоці, не впавши. Для виправлення значного дрейфу, який виникає в цій конструкції з чотирма колесами, на верхній поверхні блоків додано кругле поглиблення. Ця пасивна механічна функція допомагає утримувати робота на місці, коли він повертається, і водночас дозволяє йому легко вилазити, коли він рухається прямо вперед.

Щоб перевірити здатність робота точно й надійно орієнтуватися проведений наступний експеримент. Роботу було вказано кілька разів пройти

шлях, показаний на рис. 2.24. Він автономно виконав 40 кіл (по 20 з блоком і без нього), кожен з яких включав два підйоми, два переїзди, два спуски, всього шість поворотів на 90°. Помилки не було, тобто робот завжди правильно відстежував свій фактичний рух відповідно до вказаного алгоритму. Тобто робот виконує необхідні рухи з високою надійністю, що свідчить про ефективну навігацію, що дуже важливо, особливо при роботі у групі, коли навігація стає вирішальним фактором у точності виконання поставленого завдання.



Рис. 2.24. Експериментальна установка та результати навігаційних випробувань.

Щоб побудувати структуру, робот повинен мати можливість підбирати блоки, переносити їх під час навігації по існуючій конструкції та прикріплювати їх у необхідних місцях. Для цього робот оснащений рукою та захватом (рис. 2.25). В блоках присутні спеціальні отвори, куди робот вставляє захвати для переміщення блоків.

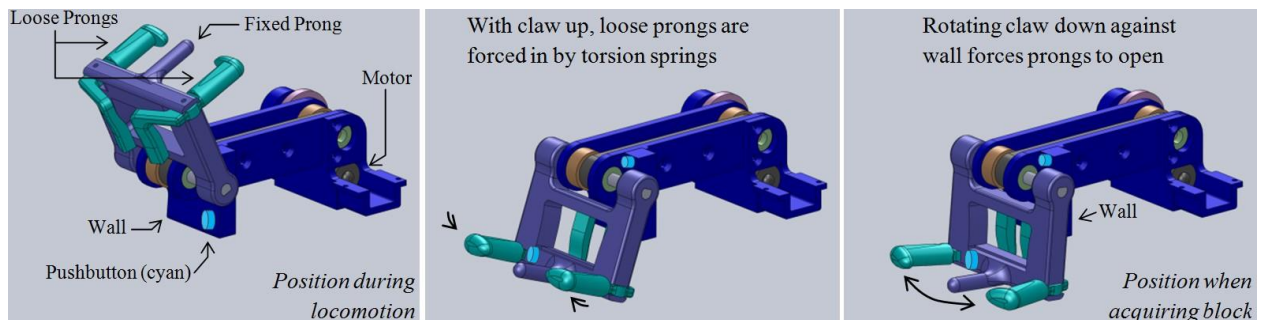


Рис. 2.25. Модель руки в SolidWorks, що демонструє роботу захвата.

Захват має бути невеликим, щоб ширина робота була меншою, ніж ширина блоків, забезпечуючи гарну маневреність робота. Згідно з філософією простоти, захват використовує один двигун, який обертає зубчастий «кіготь» вгору та вниз.

Робот опускає захват, коли йому потрібно підняти або прикріпити блок, і тримає його у верхньому положенні в інший час під час навігації (незалежно від того, тримає він блок чи ні). М'яка поверхня на спині робота допомагає підтримувати перенесені блоки. Захват має три зубці, два відкриваються та закриваються, щоб схопити або відпустити блок, один залишається зафіксованим, щоб стабілізувати утримуваний блок; пластикова вставка, яка відповідає зубцям, вбудована в кожен блок як ручка (рис. 3). Той самий двигун, який обертає захват, також контролює його другий ступінь свободи, відкривання та закривання захвату, шляхом використання пасивної механічної конструкції: торсійні пружини в звичайних умовах змушують рухомі зубці бути спрямованими всередину, але, коли захват опускається, тильна сторона зубців притискається до «стінки», змушуючи їх розкриватися.

Оскільки для маніпуляції використовується лише один виконавчий механізм, контролеру робота потрібно обробляти мало інформації, коли бере блок. Використовуються три датчики: дві кнопки, які реєструють, коли захват знаходиться на верхньому та нижньому кінці свого діапазону, а також третій датчик у основі зубців, який вказує, чи утримується блок.

Блоки містять спеціальні елементи, які забезпечують вирівнювання та надійне кріплення, що підвищує надійність виконання цих складних завдань без зайвих ускладнень конструкції робота. Кінці зубців і сторони відповідних вставних блоків закруглені, щоб виправити помилки вирівнювання, коли робот бере блок. Блоки мають елементи на нижніх гранях, які доповнюють поглиблення та виїмки на їхніх верхніх поверхнях. Ці узгоджені функції направляють блок у точне вирівнювання під час його опускання та допомагають міцно прикріпити стопку блоків. Неодимові магніти на всіх шести гранях, по два на кожную вертикальну грань і по чотири зверху та знизу, забезпечують ще один механізм вирівнювання та скріплюють суміжні блоки разом.

Щоб перевірити здатність робота надійно піднімати та прикріплювати блоки, йому було вказано кілька разів брати блоки з одного місця та прикріплювати їх в іншому (рис. 2.26). Робот отримує блок із док-станції А (спеціалізований блок без магнітів, щоб утримувати блок над ним), повертається

на 90°, приєднує блок до док-станції В. Потім повторює цей алгоритм у зворотній послідовності. У 20 випробуваннях не було жодної помилки.

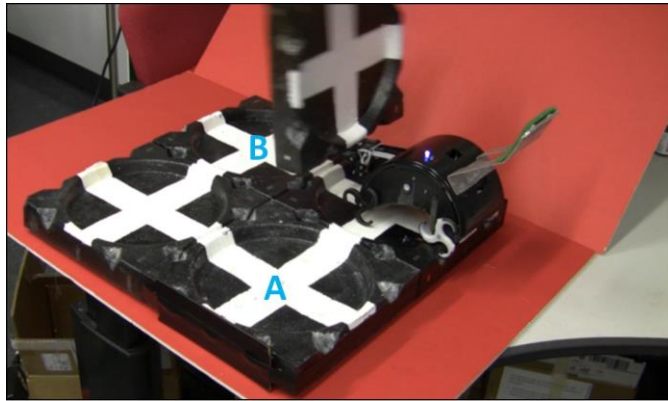


Рис. 2.26. Експериментальна установка та результати маніпуляційних тестів.

На рисунку 7 продемонстрована здатність системи автономно будувати нетривіальні конструкції. Тут побудовані сходи у 10 блоків заввишки. Це завдання об'єднує можливості окремих роботів щодо лазіння, навігації та маніпулювання, про які йшлося вище. Початкова лінія блоків і док-станція розміщуються вручну; робот встановлюється на перший блок обличчям до док-станції. Нові блоки додаються вручну до док-станції за потреби. В іншому випадку процес будівництва є повністю автономним.

Більшість коду робота виконується на вбудованому процесорі, а код вищого рівня зараз працює на окремому ноутбучі для зручності налагодження та передається роботом через Bluetooth. Робота можна запрограмувати за допомогою примітивів високого рівня, таких як черепаха з логотипом (переміщення вперед на один блок, поворот ліворуч або праворуч на 90°, підняття або приєднання блоку); Програма, за допомогою якої будуються сходи, наведена в підписі до рис. 2.27.

Надійність окремих примітивів дозволяє системі досягти своєї кінцевої мети навіть за процедуру, що складається з понад 100 кроків.



Рис. 2.27. Знімки в процесі автономного будівництва десятиблочної конструкції.

Роботів і блоки має бути легко виробляти в системі зграйового будівництва, де буде потрібно багато таких компонентів. Робот створено з поєднання готових компонентів, надрукованих на 3D-принтері. Блоки виготовлені з пінопласту, із вбудованими магнітами та пластиковими вставками.

Розміри робота – 175 мм (довжина з піднятими кігтями) × 110 мм (ширина) × 100 мм (висота без блок-полки) і важить 810 г. Перемикач увімкнення/вимкнення, змінна батарея, три світлодіоди для налагодження та штекер програмування для взаємодії з мікроконтролером доступні зовні. Привід генерується за допомогою двох мікрометалевих редукторних двигунів із пасами та зубчастими шківками для повного приводу; третій такий двигун приводить в рух захват. Усі шестерні, підшипники, реміні та пружини, які використовуються в роботі, є стандартними готовими компонентами. Елементами, виготовленими вручну: осі, вони виготовлені з алюмінієвих стрижнів діаметром 3/16 дюйма; блокова полиця, яка є гнучим алюмінієм; і кнопка для визначення утримуваного блоку, виготовлена зі складеної латунної стрічки. Усе інше механічне обладнання робота, включно з верхньою та нижньою половинами оболонки,

рукою та кігтем, а також зубцями, виготовляється за допомогою 3D-принтера. Більша частина контактної поверхні кожного колеса покрита м'якою гумою для збільшення зчеплення. Основним контролером є ATmega1281, який дозволяє легко програмувати та багато цифрових і аналогових інтерфейсів. Інша електроніка включає в себе перетворювачі живлення, аналогові фільтри для обробки датчиків, драйвери трьох двигунів, інфрачервоні датчики та датчики нахилу, кнопки для тактильного розпізнавання, а також модуль Bluetooth для налагодження через ПК. ІЧ-датчики управляються схемою, окремою від плати керування; їх схема одночасно обробляє вихідні сигнали та вмикає їх по одному для економії енергії, не вимагаючи контролю з боку головного процесора. Робот працює від двох літій-іонних акумуляторів 7,2 В ємністю 750 мАг, один живить виконавчі механізми, інший – контролер і електроніку датчиків.

Блоки виготовлені з морської піни за допомогою спеціальної силіконової форми та двокомпонентної рідкої піни 4 фунт/фут³. Вкладиші друкуються на 3D-принтері. Одна вставка та 16 магнітів (кожен із силою притягування магніту до сталевієї пластини 1,93 фунта) додаються до форми перед заливкою піни та вбудовуються в блок під час затвердіння. На поверхню виїмок додається невеликий шар герметика, щоб допомогти роботу піднятися. Кінцеві блоки мають розміри 21,5 × 21,5 × 4,5 см і важать 165–210 г (залежно від варіантів виготовлення).

Система, здатна будувати сходи, як описана вище, так само здатна будувати широкий спектр складних конструкцій. Щоб розширити систему до повної колективної конструкції, необхідні три типи розширень, пов'язані з інтерфейсом користувача високого рівня, навігацією від структури та взаємодією кількох роботів.

В підсумку, не занурюючись у деталі проєкт TERM розв'язує цілу низку проблем роботизації в будівництві. Підхід успішного використання зграї простіших роботів забезпечує високий ступінь масштабування системи, що може значно збільшувати продуктивність з майже необмеженими перспективами. Також, це майже не єдина система, яка не залежить від висотності будівництва, оскільки роботи переміщуються по вже побудованим стінам постійно

збільшуючи їх висоту. Слід зазначити, що технологія використовує власну конструкцію будівельних блоків.

Але на ряду з позитивними перспективами необхідно відзначити негативні боки проєкту. Зчеплення окремих блоків відбувається не за рахунок розчину або клею, а за рахунок магнітів, тобто не вирішене питання подачі цементного розчину. Блоки ставляться виключно один на одного без жодного зміщення та перекриття, що робить структуру конструкції не достатньо стійкою.

2.7. Використання технології 3D друку в будівництві

Значно ширше розкрити потенціал ВІМ-технологій дозволяє 3d-друк. Він значно підвищує технологічність будівельної галузі та здатен звести до мінімуму або зовсім прибрати вплив людського фактору при зведенні будівлі. Таким чином, ми отримуємо точну копію віртуальної моделі (рис. 2.28).

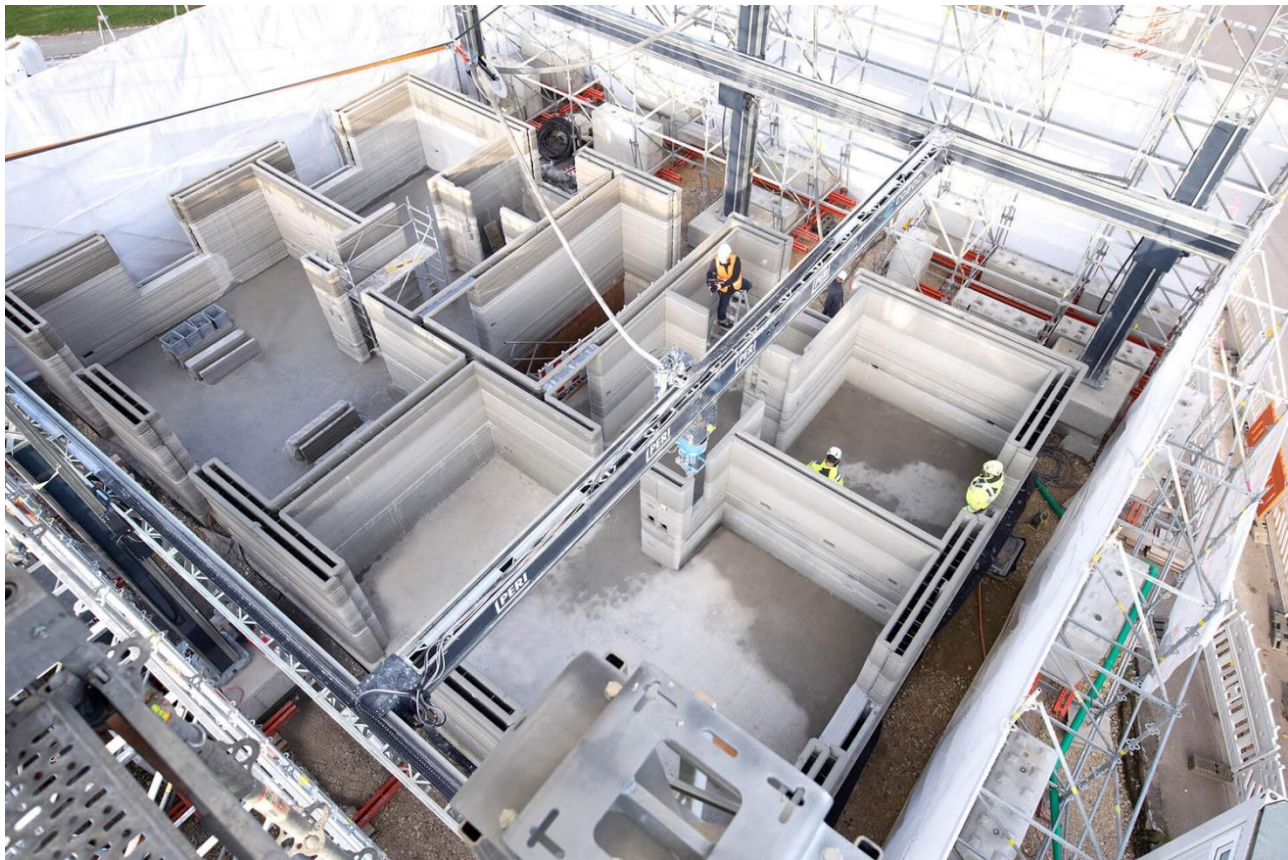


Рис. 2.28. Процес 3d-друку будівлі.

Технологія 3d-друку зараз знаходиться на етапі розвитку. Для її реалізації потрібна інтеграція трьох важливих аспектів – матеріалів, технологій та обладнання, конструкцій.

Найпоширенішим матеріалом для 3d-друку, як і для будівництва в цілому є бетонні суміші. Але необхідність створення об'єкта шляхом послідовного накладання окремих шарів (адитивне виробництво) додатково додає характеристики, які потрібно враховувати та покращувати, наприклад: потужність перекачування, екструзійна здатність, зчеплення шарів, здатність нарощування тощо [2].

Технологію 3d-друку можна розділити на два види – друк безпосередньо на будівельному майданчику та друк окремих компонентів на спеціалізованому підприємстві з подальшим їх з'єднанням в місті будівництва [3]. Кожна з цих технологій має свої недоліки та переваги. Так для друку на будівельному майданчику є необхідність використання мобільного принтеру, що накладає обмеження на його розміри та функціонал. Але при цьому зникає потреба у транспортуванні частин та подальшому їх монтажу, зменшує залежність технології від втручання людини. Цікавою ідеєю є заміна єдиного великого принтера на декілька роботів. Це значно зменшує габарити принтеру з потенціальною можливістю збільшення розмірів будівлі, підвищується швидкість друку, але виникає проблема з координуванням роботи окремих роботів між собою [4].

Третім важливим аспектом адитивного виробництва є конструкція будівлі. Перш за все тут можна відразу виділити два обмеження принтерів. По-перше вони не можуть друкувати кути. Будь-яка зміна спрямування шару, що накладається супроводжуватиметься деяким радіусом закруглення. Чим тонший шар, тим меншим можна зробити цей радіус. За необхідністю в подальшому є можливість виправити цей недолік при оздобленні будівлі. По-друге, кожен наступний шар лягає на попередній. Це не дає можливість зробити горизонтальне перекриття стелі, оскільки не застигли стрічки бетону без опори будуть провисати. Хоча є можливість надрукувати плиту підлоги у випадку покомпонентної зборки.

Щодо конструкції в цілому, тут є два основні підходи. Перший підхід базується на використанні для друку стін суцільної бетонної конструкції. Її слід використовувати у випадках дії лише стискаючих зусиль. Для забезпечення

необхідної теплової та акустичної ізоляції, а також підвищення згинальної жорсткості, проєктувальники прагнуть збільшити товщину стіни. Це досягається накладанням двох крайніх шарів, які з'єднують між собою діагональними перетинками. Простір, що утворився всередині стіни за необхідністю можна заповнити пористим матеріалом.

В другому підході використовується арматура для можливості опору більшим зусиллям, і перш за все згинальним моментам при якому одночасно виникають зусилля стискання та розтягу. Наявність арматури зменшує технологічність процесу друкування, оскільки з'являється необхідність у людському втручанні. Особливо негативний вплив це може принести роботизованій системі. Найпростіший спосіб додати арматуру – це прокласти горизонтальну сітку [5]. Але більш ефективна – вертикальна арматура, щоб її додати необхідно спочатку надрукувати оболонку, потім вставити вертикальні стержні, які заливаються бетоном [6]. Є пропозиції друкувати арматуру за допомогою системи електродугового зварювання [7].

Перекрыття та покриття у друкованих будівлях, як правило, робиться традиційно за допомогою залізобетонних плит або дерев'яних конструкцій. Хоча в деяких випадках переходять до куполоподібних конструкцій вони дозволяють забезпечити виключно стискаючі напруження в стінах, які одночасно слугують покриттям. Таким чином, зникають горизонтальні елементи, а процес друку повністю автоматизується.

Слід зазначити, що повномасштабне впровадження адитивних технологій у будівництві потребує розробки спеціальних державних будівельних норм. Поки що, ані в Україні, ані в інших країнах світу не існує стандартів, які б нормували проєктування та 3d-друк будівель.

З позиції автоматизації будівництва, у порівнянні з вище згаданими роботизованими системами технологія 3d-друку є найбільш розвиненою. Вона вже зараз має промислове впровадження та велику кількість реалізованих проєктів. Крім того, при використанні аранжованого перекрыття – це поки що єдина система, яка дозволяє звести конструкцію «під ключ» повністю самостійно, без втручання людини.

Але в технологія 3d друку має також і недоліки, які потрібно зазначити. В ній, як і в більшості технологій не вирішене питання багатоповерховості. Висота будівлі обмежується розмірами каркасу 3d принтера. Друкувати можна лише певними рідкими матеріалами з деяким часом тужіння. Це обмежує проєктувальника у виборі конструкції будівлі та збільшує терміни зведення. Також зменшує продуктивність принтерів низька масштабованість системи, адже принтери мають лише один екструдер без можливості встановлення додаткових сопел.

Розділ 3. Розробка концепції роботизованої системи зведення будівель

3.1. Розробка класифікації будівельних робіт

Проведений аналіз існуючих будівельних робіт та систем автоматизації зведення будівельних конструкцій дозволяє розробити їх класифікацію. Її мета полягає у принциповому визначенні існуючого поля конструктивних та концептуальних рішень в галузі автоматизованого будівництва. Як показав проведений аналіз кожна розробка має свої позитивні сторони та переваги, які можна використати у власній концепції.

Перша ознака, за якою пропонується класифікувати будівельних робіт – це матеріал, що ними використовується:

- системи що використовують рідкі розчини;
- роботи, які зводять конструкції з елементів специфічної форми;
- універсальні роботи, маніпулятори яких готові працювати з будь якими твердими елементами.

Слід зазначити, що навіть універсальні роботи, які можуть працювати з цеглою різної форми, розмірами та вагою, все ж тяжіють до спеціалізації матеріалів. Так компанія Fastbrick Robotics Ltd, що виготовляє системи Hadrian X заключила договір з виробником цегли Wienerberger AG з метою розробки та впровадження спеціалізованих матеріалів, які б забезпечували збільшення надійності продукції та підвищення продуктивності роботи цієї системи.

Наступна класифікація – позиціонування. Це одне з первинних вмінь автоматизованої системи. Виходячи з проведеного аналізу, можна виділити дві категорії:

- системи вільного позиціонування – системи, які фізично не зв'язані з базовими координатами;
- системи з зовнішнім каркасом, які мають направляючі елементи, відносно яких визначаються координати технологічного процесу (кладки цегли маніпулятором або нанесення розчину екструдером 3d принтера).

Найцікавішою системою позиціонування, на наш погляд є система автономного будівельного робота In-Situ Fabricator, в якій він сканує оточуюче

середовище та порівнює з попередніми показниками, отримана різниця дає розуміння щодо зміни координат. Такий підхід дуже позитивно зарекомендував себе при використанні у комп'ютерних маніпуляторах «миш». Але вона поки що дає розуміння лише про зміни координат, а не про їх абсолютне значення.

Не зважаючи на перспективи вільних систем, вони програють у надійності системам з жорстким каркасом. Крім того, вимагають значних розрахункових потужностей та наявності значної кількості сенсорів та датчиків.

За конструкцією функціонального елемента, який виконує основний технологічний процес:

- тривимірні маніпулятори;
- двовимірні маніпулятори;
- екструдери.

Тривимірні маніпулятори мають найскладнішу конструкцію, а значить найбільшу вартість та найменшу надійність. Разом з цим, вони забезпечують універсальність, а система динамічної стабілізації в роботі Hadrian X гарантує високу точність процесів. Крім того, такі маніпулятори чудово зарекомендували себе у машинобудівельній галузі. В роботі In-Situ Fabricator запропонована цікава концепція використання маніпулятора, як платформи для можливого розміщення необхідного інструментарію для виконання специфічних функцій, як то кладка цегли, зварювання, перенесення вантажів тощо.

Двовимірні маніпулятори використовуються у роботах Terms. Не зважаючи на деяку обмеженість у функціоналі такого пристрою, саме його простота забезпечує працездатність цього робота.

За масштабованістю можна виділити три рівня:

- немасштабовані;
- системи, що дозволяють масштабування;
- системи, що призначені до масштабування.

До немасштабованих систем відноситься робот Hadrian X, який працює повністю самостійно. Крім того, скорочення термінів зведення навряд перекриє його високу вартість використання. Також до немасштабованих пристроїв слід віднести 3d принтери.

Системи, що дозволяють масштабування – це роботи Mule та SAM, які можна встановлювати в більшій кількості та дещо підвищувати продуктивність.

Окрему категорію мають системи, які в принципі призначені для масштабування. Це системи, що працюють групами, або у випадку з роботами Terms, можна сказати «зграями». Ще до цієї категорії можна віднести роботів OSCR-3, які працюють в команді, та можуть виконувати командні завдання.

За висотністю будівель, що зводяться:

- обмежені;
- не обмежені.

Висотність будівництва, це ще одна первинна властивість роботів, через яку їх ефективність значно страждає. Єдині роботи, інформацію про яких нам вдалося знайти, та, які необмежені у висотності – це роботи Terms. Не зважаючи на те, що поки у них є межа надійної висоти будівлі, але безпосередньо концептуально в них немає обмеження висоти будівництва. Це пов'язано з тим, що вони постійно збираються на зведенні ними ж стіни. Частково до роботів з необмеженою висотою будівництва можна віднести систему SAM, оскільки за її допомогою була облицьована 14-ти поверхова будівля. Але при цьому вона потребує встановлення додаткової платформи, що значно знижує автономність її роботи.

За методом транспортування:

- самохідні;
- маломобільні;
- стаціонарні.

До самохідних систем слід віднести Hadrian X, оскільки вона встановлена на базу вантажівки та може власним ходом дістатися до місця будівництва.

Маломобільні системи – це системи, що самостійно рухаються, але лише в межах будівельного майданчику. До таких роботів можна віднести In-situ Fabricator, Terms, OSCR-3, SAM.

Стаціонарні системи – це системи, що мають жорстку опорну раму, яка закріплюється на початку будівництва та знімається після завершення. До таких систем слід віднести 3d-принтери, напівавтоматичних роботів Mule.

3.2. Власна концепція будівельної роботизованої системи

3.2.3. Проблеми роботизації будівництва та шляхи їх розв'язання

Виходячи з проведеного аналізу та розробивши класифікацію існуючих будівельних роботизованих систем, визначимося з їх недоліками, вплив яких необхідно знизити:

- 1) обмеження висоти будівель, що зводяться;
- 2) проблеми з позиціонуванням;
- 3) масштабування систем з метою збільшення продуктивності.

Обмеження висоти будівель – складна проблема, адже будь який маніпулятор, навіть такий великий, як у Hadrian X (його довжина дорівнює 30 м) має обмеження. Намагання підняти систему разом зі збільшенням висоти споруди, як це робиться для SAM призводить до залучення додаткової людської праці, що знижує відсоток автоматизації зведення. На нашу думку найбільш ефективно з цю проблему вирішує роботизований рій Termes, коли кожен ряд будівельних блоків – це нова траса для машин, які піднімаються разом зі зведенням будівлі. Нажаль у Termes ця технологія не досить надійна, оскільки роботам приходится постійно виконувати складні маневрування – обертатися, перекидати через себе блоки.

Отже, в напрямі збільшення висотності автоматизованого будівництва необхідно запровадити систему, для якої опорною трасою будуть самі стіни, при цьому рухи робота повинні бути прості, щоб не зруйнувати щойно прокладений ряд цегли.

Проблеми з позиціонуванням. З одного боку сучасні сенсори, сканери, лазерні вимірювачі дають широкі можливості, але, коли робот рухається по будівельному майданчику ці досягнення можуть дати збій, оскільки поверхня переміщення складна, а позицію визначати потрібно з точністю до міліметра. Найкращі результати в позиціонуванні дає 3d принтер, оскільки в ньому друкуюча головка рухається на встановлених направляючих. Але встановлення таких направляючих погіршує ситуацію з першою проблемою. З іншого боку, більшість стін має прямолінійну форму, тому з'являється можливість самі стіни використовувати, як направляючі елементи. Це дуже добре споріднюється зі

способом розв'язання проблеми висотності, коли самі стіни визначаються трасами.

Проблеми масштабування найкращим чином розв'язуються шляхом використання рою Terres. Хоча попередні позиції виключають можливість використати цієї технології, але в нашій системі ми також можемо взяти корисні ідеї з біоніки. У колоніях комах-будівельників не всі особі однакові. Кожна виконує своє завдання, під яке вона розвивається та має особливості фізіології та будови тіла. В концепції що розробляється також можуть бути різні роботи, кожен з яких має свій функціонал, рухаючи всю систему до поставленої мети. Ми пропонуємо широко долучати роботів OSCR-3 для забезпечення будівельного процесу матеріалом.

3.2.2. Концепція будівельної роботизованої системи

При розробці концепції будівельної роботизованої системи ми спиратимемося на перспективні шляхи усунення недоліків існуючих роботів, які були розглянуті вище. Крім того, при проведенні аналізу, ми звернули увагу на тяжіння розробників до використання власних форм цегли та спеціалізованих будівельних блоків. Такий підхід розширює можливості роботизованої системи.

Ми пропонуємо концепцію роботизованої системи, яка складається з рами, візку, маніпулятора та опорного механізму (рис. 3.1).

Рама – це конструкція, яка включає направляючі рейки, а також місця для під'єднання опорного механізму. На направляючу раму кріпиться візок.

Візок – це компонент системи на який встановлюється маніпулятор та бокс для матеріалів. Його прототипом є візок 3d принтера. Направляючі дозволяють досить точно визначити поперечну координату.

Машинобудівна промисловість показала значну ефективність маніпуляторів у роботизації виробничих ліній. Причому вони досить універсальні та задіяні у багатьох операціях: зварювання, складання, обробіток компонентів тощо. Такі маніпулятори вбудовуються також в більшість будівельних роботизованих систем. Аналогічний маніпулятор використовується в нашому концепті. Він є багатофункціональним, має захвати, екструдер для

нанесення цементно-піщаного розчину, може бути вбудований елемент для зварювання металевих деталей.

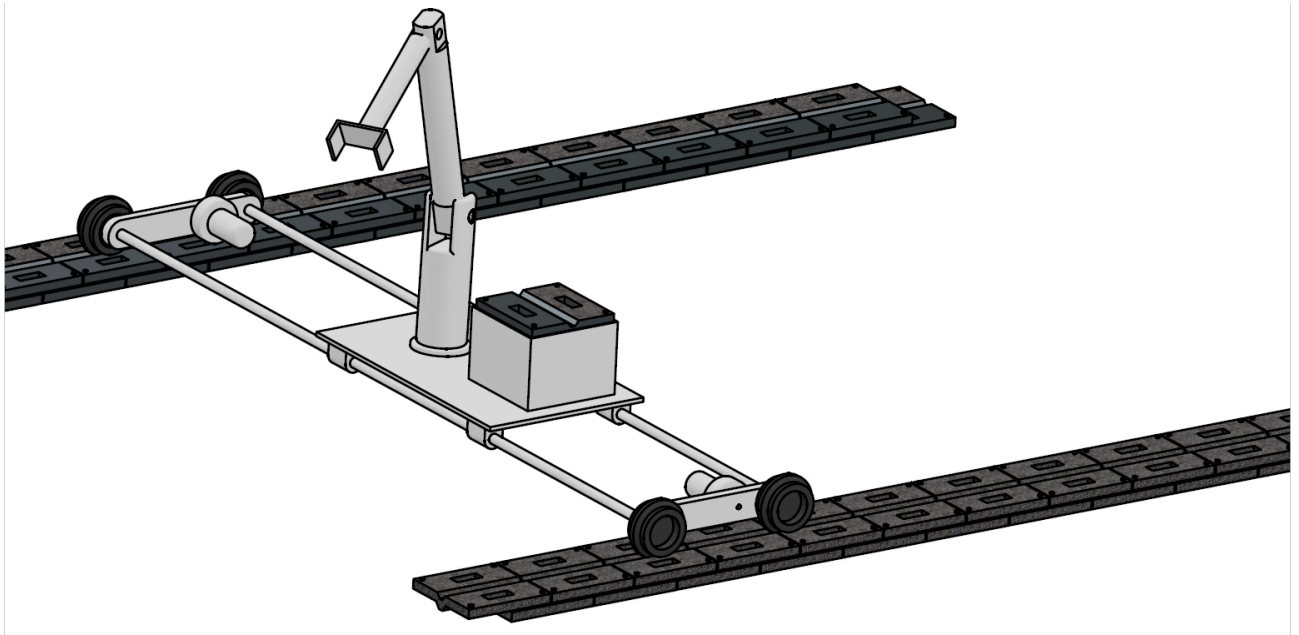


Рис. 3.1. Концептуальна схема роботизованої системи, яка пропонується.

Разом з маніпулятором візок має бокс для складання блоків, з яких зводяться стіни.

Основні елементи опорного механізму це з мотор-редуктор та рушії. Опорні механізми встановлюються на несучі стіни та рухаються по них, як по направляючим. Таким чином, разом зі зведенням стін піднімається роботизована система. Для стійкого руху по стіні необхідно використовувати спеціальну конструкцію будівельних блоків, яка буде стабілізувати рушії. Для поздовжнього позиціонування візка та маніпулятора на опорний механізм встановлений лазерний далекомір. Він визначає відстань до щита, який встановлюється на початку стіни.

Порядок роботи системи наступний. Маніпулятор викладає ряд блоків на стінах, по яких рухаються опорні механізми. Для зручності на рамі можна встановити два маніпулятора для одночасного формування двох стін під опорні колеса та збільшення продуктивності праці. Для забезпечення перекриття блоків першій блок встановлюється по чергово в рядах повнорозмірний чи напіврозмірний. Міжкімнатні перегородки можна друкувати за допомогою

встановленого на маніпуляторі екструдера. Найскладніший момент – завершення ряду. За допомоги підйомної системи колеса заїжджають на щойно укладений ряд блоків та робот продовжує укладання нового ряду.

Для стійкого та надійного функціонування нашої концепції, нами розроблена конструкція спеціалізованих блоків (рис. 3.2, рис. 3.3). Вона має квадратну форму та розрахована вкладавання всієї ширини стіни. Тобто можливі модифікації в залежності від проєкта будівлі. На рис. представлений блок під товщину несучої стіни 640 мм. Оскільки міжкімнатні стіни можуть викладатися зі звичайної цегли, для синхронізації технологічного процесу, їх висота відповідає висоті рядової цегли – 65 мм. По осі в поздовжньому напрямі блок має установочне ребро з одного боку та направляючий жолоб з іншого. При встановленні блоків ребро верхнього шару з'єднується з жолобом нижнього для впевненого позиціонування. Також жолоб служить для переміщення по ньому колеса. Воно має часткове обпирання на стінки жолоба, а часткове на горизонтальну поверхню. На верхній стороні, блок має напливи для формування рівного шва. Посередині передбачені спеціальні отвори для утримання блоку в захваті маніпулятора.

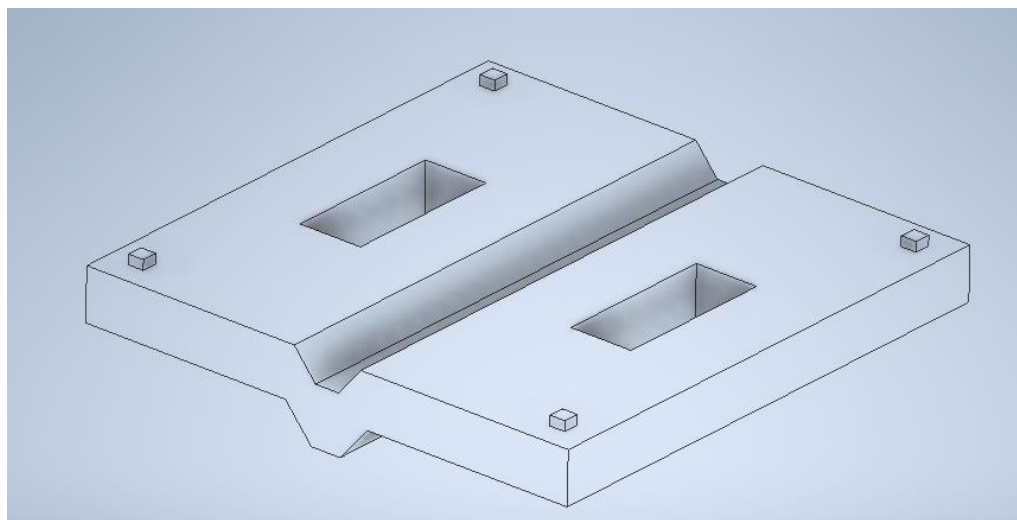


Рис. 3.2. Конструкція будівельного блоку.

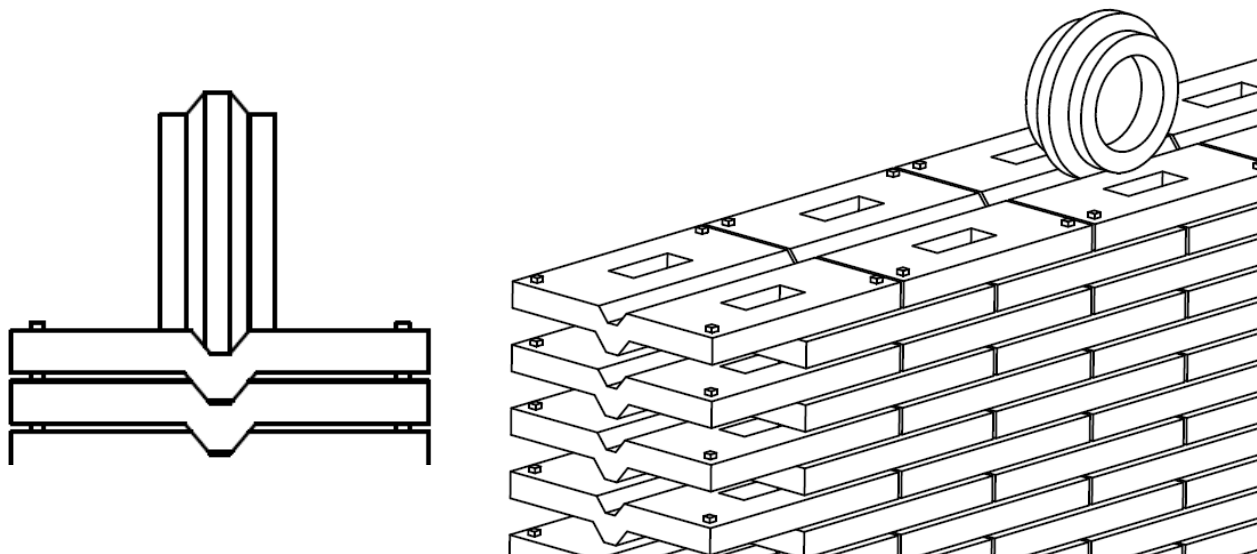


Рис. 3.3. Складання будівельних блоків.

Для забезпечення безперебійного постачання матеріалів, на візок можна встановити підйомний механізм, який підніматиме касети блоків та, за допомогою маніпулятора встановлюватиме їх до боксу.

Таким чином, запропонована концепція дозволяє розв'язати виділені недоліки існуючих роботизованих систем. Вона може масштабуватися, відсутнє обмеження поверховості та забезпечується ефективне позиціонування.

ВИСНОВКИ

1. За даними міжнародної федерації робототехніки, світова промисловість стало нарощує темпи роботизації технологічних процесів, лідерами тут є виробництво електроніки та автомобільна промисловість.
2. Будівельна галузь поки що не показує високої активності в закупівлі роботів, що свідчить про їх недосконалість.
3. Світове впровадження технологій БІМ спонукає до інтенсивної цифровізації не лише проєктної частини життєвого циклу будівель, але й інших етапів.
4. Цифровізація зведення будівель пов'язана з його частковою або повною роботизацією.
5. Більшість будівельних роботизованих систем на даний час знаходяться на етапі розробки та вдосконалення і мають низку проблем, основні з яких: обмеження у висотності, проблеми з позиціонуванням, низькі можливості у масштабуванні цих систем.
6. Запропонована концепція має можливість переміщуватися по стінах будівлі, що зводиться, розв'язуючи таким чином проблему висотності будівництва.
7. Розроблена конструкція блоків дозволяє значно полегшити позиціонування роботизованої системи у просторі.
8. Технологія використання запропонованої концептуальної системи використовувати декілька її екземплярів в залежності від розмірів будівлі, що забезпечує можливість масштабування та підвищення продуктивності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 року № 152-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-r#top> (дата звернення: 09.06.2022 року).
2. Le T. T., Austin S. A., Lim S., Buswell R. A., Gibb A. G. F., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. // Mater. Struct. Constr. 2012. № 45. P. 1221–1232.
3. Заяць Є., Богданов І., Невгомонний Г., Мерилова І., Речиц О. Особливості використання технологій 3d-друку в будівництві // Містобудування та територіальне планування, № 76. 2021. С. 83-93.
4. Ma, G., Wang, L., Ju, Y. State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material – An emerging technique for construction // Sci. China Technol. Sci. 2018. № 61. P. 475–495.
5. Asprone, D., Auricchio, F., Menna, C., Mercuri, V. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // Constr. Build. Mater. 2018. № 165. P. 218–231.
6. Bedarf, P., Dutto, A., Zanini, M., Dillenburger, B. Foam 3D printing for construction: A review of applications, materials, and processes // Autom. Constr. 2021. P. 130.
7. Krimi, I., Lafhaj, Z., Ducoulombier, L. Prospective study on the integration of additive manufacturing to building industry – Case of a French construction company // Addit. Manuf. 2017. № 16. P. 107–114.
8. Citation: Co-Robotics and Construction: OSCR 1-4 Prototypes. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/citation-co-robotics-and-construction-oscr-1-4-prototypes_o
9. In-situ Fabricator: An autonomous construction robot. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://robohub.org/in-situ-fabricator-an-autonomous-construction-robot/>

- 10.MULE smart lifting. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.construction-robotics.com/mule/>.
- 11.TERMES: An Autonomous Robotic System for Three-Dimensional Collective Construction
- 12.World Robotics 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf
- 13.ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – Чинний від 2017–01–01. – Київ : Мінрегіон України, 2016. – 51 с.
- 14.ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 36 с.
- 15.ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – Чинний від 2011–06–01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с.
- 16.ДСТУ ISO 19650-1:2020. Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи., Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 76с.
- 17.Овчаренко О. А. Методичні рекомендації до виконання та оформлення кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія другого (магістерського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання / О. А. Овчаренко, В. І. Гук. – Старобільськ: ЛНАУ, 2021. – 46 с.
- 18.Організація будівництва : підручник / [С. А. Ушацький, Ю. П. Шейко, Г. М. Тригер та ін.]; за ред. С. А. Ушацького. – Київ : Кондор, 2007. – 521 с.
- 19.Порядок розроблення проектної документації на будівництво об'єктів: у редакції Наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 23 березня 2012 року № 122.

Офіційний вісник України від 17.06.2011 – 2011 р.. № 43. стор. 26. стаття 1748, код акта 56863/2011.

20. Терміти – самі геніальні архітектори тваринного світу. [Електронний ресурс].
– Режим доступу: <http://mapme.club/poradi/13314-termiti-sami-genialni-arkhitektori-tvarinnogo-svitu.html>
21. Технологія будівельного виробництва : підручник / В. К. Черненко, М. Г. Ярмоленко, Г. М. Батура та ін. – Київ : Вища шк., 2002. – 430 с.
22. Якименко О. В. Конспект лекцій з дисципліни «Механізація та автоматизація будівництва і ремонтно-будівельних робіт» (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, напряму 6.060101 – Будівництво, спеціальності «Міське будівництво і господарство») / О. В. Якименко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 149 с.
23. Якименко О. В. Технологія будівельного виробництва : навч. Посібник / О. В. Якименко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 410 с.