

The Line (Саудівська Аравія): виклики будівництва «лінійного міста»

Олександр Юр'єв, студент¹ (ORCID: 0009-0007-5434-8108),

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто особливості автоматизації та механізації будівництва мегапроєкту The Line у Саудівській Аравії. Проаналізовано основні інженерні, логістичні та екологічні виклики, а також ризики впровадження роботизованих систем у масштабному будівництві. Сформульовано висновки щодо перспектив розвитку інноваційних технологій у галузі.

Ключові слова: будівництво, автоматизація, механізація, інноваційні будівельні технології.

1. ВСТУП

The Line у Саудівській Аравії — це амбітний мегапроєкт лінійного міста завдовжки 170 км, що поєднує високу щільність забудови, цифровізацію та сталий розвиток [1]. Його реалізація ґрунтується на механізації та роботизації: автономній техніці, модульній префабрикації та цифрових двійниках. Проєкт демонструє потенціал сучасної індустрії та окреслює напрями майбутнього економічного розвитку [7].

2. КОНЦЕПЦІЯ ПРОЄКТУ THE LINE

The Line у Саудівській Аравії — лінійне місто завдовжки 170 км і заввишки до 500 м, із шириною забудови до 200 м. Концепція передбачає відмову від автомобілів, пересування — лише високошвидкісним транспортом у межах 20 хв доступності [1]. Місто орієнтоване на відновлювану енергетику, мінімізацію шкідливого впливу та сталий розвиток. Керування здійснюватиметься цифровими платформами й ШІ, що робить **The Line** не просто інфраструктурним проєктом, а моделлю майбутньої урбанізації.

3. РОЛЬ МЕХАНІЗАЦІЇ У РЕАЛІЗАЦІЇ THE LINE

Будівництво **The Line** неможливе без широкого застосування механізації та робототехніки, які забезпечують швидкість, точність і безпеку робіт у складних умовах [3].

Роботизоване модульне виробництво.

Секції та панелі виготовляються на заводських хабах і швидко монтуються на майданчику, що стандартизує процеси та зменшує ручну працю [8].

Автономна техніка та роботи-маніпулятори.

Для забезпечення механізації будівельних процесів використовуються сучасні екскаватори, бетонувальні установки та автоматизовані крани, здатні виконувати точні й безпечні операції навіть на великій висоті [6].

Дрони та безпілотники.

Застосовуються для інспекції, контролю, моніторингу та доставки дрібних вантажів, забезпечуючи ефективне управління будівництвом [7].

Цифрові платформи (BIM, AI, цифрові двійники).

Дозволяють моделювати процеси, планувати роботи й логістику, автоматично виявляти відхилення та оптимізувати використання ресурсів [9].



Рисунок 1. Організація механізації проєкту (з мережі Internet)

4. ІНЖЕНЕРНІ ВИКЛИКИ

Будівництво **The Line** супроводжується масштабними інженерними викликами, що визначають вибір технологій механізації. Вони охоплюють як технічні, так і організаційні аспекти — від геології й фундаментів до логістики, кадрів і стандартів.

Логістика

Протяжність у 170 км ускладнює транспортування матеріалів. Для своєчасного монтажу потрібні локальні автоматизовані хаби та принцип just-in-time [8].

Геотехніка

Різні ґрунтові умови вимагають укріплення схилів, потужних фундаментів та постійного моніторингу [3].

Матеріально-сировинна база.

Потрібна безперервна подача цементу, геополімерів і арматури. Вирішенням є локальні виробництва бетонних сумішей [2].

Клімат

Висока температура, вітер і пил знижують точність робіт та якість бетону, що потребує захищених хабів та адаптованої техніки [5].

Вертикальність

Висота до 500 м створює нові ризики, тож необхідні спеціальні крани, підйомники та автономні фасадні системи [8].

Кадри й норми

Спостерігається дефіцит фахівців та відсутність стандартів для роботизованих процесів. Потрібна нова нормативна база та системна підготовка кадрів [5].

5. ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРИ БУДІВНИЦТВІ THE LINE

Будівництво **The Line** має низку викликів, безпосередньо пов'язаних із механізацією.

Геологія та клімат

Складні ґрунти потребують спецтехніки для фундаментів. Високі температури й піщані бурі зношують обладнання, тож потрібні системи охолодження, фільтрації й пилозахисту [5].

Масштаб і темпи

Протяжність у 170 км створює проблеми переміщення техніки й координації сотень підрядників. Швидкий монтаж вимагає максимальної автоматизації [10].

Інновації та ризики

Роботизовані системи та безпілотна техніка ще не відпрацьовані у таких масштабах. Це несе ризики збоїв і затримок, а висока вартість підвищує навантаження на бюджет [4].

Екологія й соціум

Масова експлуатація техніки може шкодити екосистемам, тож потрібен моніторинг шуму, пилу й викидів. Додатковим викликом є підготовка персоналу до роботи з новими механізмами [10].

6. ПЕРСПЕКТИВИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Будівництво The Line є експериментом світового масштабу, тому правильна організація механізації визначатиме не лише успіх цього проєкту, а й подальший розвиток інженерної практики в урбаністиці.

Перспективи розвитку механізації

Повна інтеграція цифрових систем управління (IoT, штучний інтелект) для координації машин і будівельних процесів у реальному часі.

Використання модульного будівництва з високим рівнем префабрикації, що зменшить потребу у важкій техніці на майданчику [9].

Подальший розвиток роботизованих комплексів для виконання монотонних і небезпечних завдань (зварювання, монтаж, обслуговування).

Енергетична автономність механізмів завдяки переходу на електричні або водневі двигуни, що зменшить викиди та залежність від палива.

Рекомендації для оптимізації механізації

1. Адаптація техніки до клімату: використання пилозахисних систем, термостійких матеріалів і вдосконаленого охолодження.
2. Створення мобільних ремонтних баз уздовж лінії будівництва для швидкого обслуговування техніки [8].
3. Акцент на навчання персоналу: підготовка операторів роботизованих систем і інженерів з автоматизації.
4. Міжнародна кооперація: залучення провідних світових виробників техніки та обмін досвідом у сфері механізації.
5. Гнучке планування ресурсів: застосування цифрових двійників для прогнозування зношення техніки, оптимізації маршрутів і графіків роботи.

Значення для глобальної інженерної практики

Успішна реалізація The Line стане прикладом нового рівня механізації у будівництві та синтезу інженерних рішень різних галузей. Це може стимулювати поширення інноваційних технологій і в інших країнах, особливо у великих інфраструктурних мегапроєктах. Крім того, досвід роботи в екстремальних кліматичних умовах може бути корисним для розвитку міст у пустельних та арктичних регіонах [7].

7. ПЕРСПЕКТИВИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Будівництво проєкту The Line у Саудівській Аравії демонструє нову парадигму розвитку будівельної галузі, у центрі якої — механізація, автоматизація та цифровізація процесів. Масштабність і унікальні умови реалізації цього мегапроєкту зумовлюють необхідність використання передових технологій: від автономних логістичних систем і модульного виробництва до роботизованого монтажу та безперервного моніторингу конструкцій.

Механізація у The Line не є другорядним інструментом, а виступає ключовим фактором успіху, оскільки:

- дозволяє оптимізувати витрати часу і ресурсів;
- забезпечує безпеку праці у складних кліматичних та технічних умовах;
- створює передумови для сталого розвитку завдяки зменшенню екологічного навантаження;
- формує новий ринок високотехнологічних робочих місць.

Разом із тим, реалізація пов'язана з низкою викликів — технологічних, соціально-економічних та екологічних. Їх подолання вимагає комплексного підходу, який включає стандартизацію процесів, розвиток кадрового потенціалу, міжнародну співпрацю та впровадження сучасних рішень.

Отже, досвід The Line може стати еталоном для майбутніх мегапроєктів, що реалізуватимуться у світі, а механізація – ключовим рушієм еволюції сучасного будівництва.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] NEOM. The Line (official). 2025. URL: <https://www.neom.com/line>.
- [2] NEOM. Design & Construction Innovation (official). 2025. URL: <https://www.neom.com/en-us/innovation/design-and-construction>.
- [3] Geotechnical and Engineering Challenges of NEOM. Geoengineer. 2023. URL: <https://www.geoengineer.org>
- [4] NEOM invests in GMT Robotics. New Atlas. 2023. URL: <https://newatlas.com>.
- [5] Risks and Challenges Associated with NEOM Project. MDPI. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, № 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159123>.
- [6] Robotics in the Construction Sector: Trends, Advances and Challenges. Springer. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40940-024-00212-3>.
- [7] The Line: Case Study. Atlas of Urban Tech. 2024. URL: <https://atlasofurbantech.org>.
- [8] Atkins Réalis. The Line at NEOM (Project page). 2025. URL: <https://atkinsrealis.com>.
- [9] AI & On-Site Construction Robotics: A Review. MDPI. *Automation*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/automation5010007>.
- [10] NEOM. Official news and updates on The Line (Hidden Marina та ін.). 2025. URL: <https://www.neom.com/newsroom>; <https://gsourcedata.com>

ⁱ Робота виконана під керівництвом Володимира Рашиківського, доц., зав. каф. БМ.