

О. Г. Лялюк  
Р. С. Осипенко

# ОСОБЛИВОСТІ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

У роботі розглянуто імплементацію штучного інтелекту в будівельній галузі. Визначено основні напрямки імплементації ШІ на п'яти етапах проектування будівель та споруд, організації будівництва та експлуатації. На першому етапі «Планування та проектування» слід зібрати та проаналізувати інформацію про аналогічні будівельні проекти, враховуючи фінансові ресурси, терміни виконання, особливості будівель і інші важливі фактори, використовувати автоматизоване проектування, що враховує геодезичні дані, геологічні особливості, кліматичні умови, вимоги містобудування, технічні умови та інші фактори для оптимізації дизайну. На другому етапі «Оцінка ризиків та перспективи» ШІ за допомогою алгоритмів прогнозування для ідентифікації можливих ризиків визначає стратегії їх управління. На третьому етапі «Управління ресурсами та постачанням» виконується оптимізація логістики для передбачення потреб у будівельних матеріалах та автоматизації керування ланцюжком постачання, планування графіків роботи працівників за допомогою алгоритмів машинного навчання для передбачення потреб у робочій силі та оптимізації графіків. На четвертому етапі «Автоматизація та моніторинг» використовуються автоматизовані системи та дрони, керовані штучним інтелектом, для виконання рутинних та небезпечних завдань на будівельному майданчику, розгортається система моніторингу, яка в режимі реального часу відстежують прогрес будівельних робіт та інші ключові параметри. На п'ятому етапі «Оцінка якості та аналіз завершеного проекту» використовується аналіз даних для оцінки якості виконаних робіт, автоматизована перевірка виконаних робіт та визначення відповідності стандартам ДБН, технічному завданню на проектування, аналізу планування та витрачених ресурсів.

Розглянуто застосування штучного інтелекту на прикладі планування ресурсів в будівництві, яке може включати в себе використання різних математичних моделей та алгоритмів для оптимізації використання ресурсів. Зазначено переваги та недоліки застосування штучного інтелекту, та перспективи його розвитку в будівельній галузі.

**Ключові слова:** штучний інтелект, підприємство, машинне навчання, виклики штучного інтелекту, можливості штучного інтелекту, будівельна галузь, робототехніка.

## Вступ

На сучасному етапі розвитку технологій, тема використання штучного інтелекту (ШІ) в будівництві стає все більш актуальною і обговорюваною. Спостерігається зростання інтересу до впровадження інноваційних технологій у будівельну сферу, що дозволяє ефективніше вирішувати завдання та вдосконалювати якість будівельних проектів,

У світлі глобальних викликів, таких як військові дії, пандемії, зміни клімату, тощо штучний інтелект виступає як інструмент для розробки проектів, оцінки ризиків, менеджменту для впровадження надійних та енергоефективних будівель. ШІ дозволяє аналізувати та прогнозувати час реалізації проектів, їх фінансування, витрати робочого часу та умови експлуатації [1,2].

Застосування ШІ в будівництві також відзначається стрімким розвитком робототехніки та автоматизації. Роботи, які раніше виконували люди, тепер можуть бути здійснені автономними роботами, що дозволяє підвищити продуктивність та знизити ризики для робітників.

Проте, разом із зростанням інтересу до цієї теми, виникають і нові виклики. Забезпечення кібербезпеки та вирішення етичних питань, пов'язаних із застосуванням ШІ в будівництві, стають надзвичайно важливими аспектами розвитку цієї галузі.

Усі ці аспекти роблять тему використання штучного інтелекту в будівництві актуальною і перспективною, вимагаючи постійного вдосконалення технологій та розробки стандартів для забезпечення ефективного та безпечного впровадження цих інновацій у будівельну галузь.

**Метою роботи** визначити особливості імплементація штучного інтелекту в будівництві

## Основна частина

В умовах військового стану зростають потреби в швидкому прийнятті рішень для реконструкції та будівництва нових об'єктів інфраструктури, військової, енергетичної, соціальної сфери, тощо. Станом на 1 вересня 2023 року загальна сума прямих задокументованих збитків, завдана інфраструктурі України через повномасштабне вторгнення Росії, зросла до \$151,2 млрд (за вартістю заміщення) [3].

Одним із завдань для реалізації комплексного підходу в будівництві та реконструкції об'єктів інфраструктури України є імплементація штучного інтелекту на кожному етапі життєвого циклу проектів [4]. Умовно можна розділити на 5 етапів (Рис.1):

**Аналіз потреб:** Ретельний аналіз області будівництва для виявлення конкретних потреб, які можна вирішити за допомогою ШІ. Це може включати автоматизацію планування, оптимізацію ресурсів, прогнозування термінів виконання робіт та інше.

Етап 1: Планування та проектування

– Збір та аналіз даних про аналогічні будівельні проекти, враховуючи бюджет, терміни виконання, характеристики будівель та інші фактори.

– Автоматизоване проектування, враховуючи геодезичні дані, геологічні особливості, клімат, містобудівні обмеження, технічні умови, та інші фактори для оптимізації дизайну.

Складовими цього етапу можуть бути:

**Вибір технологій:** Обрання відповідних технологій ШІ, які найкраще відповідають вирішенню виявлених проблем. Це може бути машинне навчання для прогнозування, комп'ютерне зору для контролю якості, роботи з великими обсягами даних для оптимізації процесів тощо.

**Збір даних:** Збір необхідних даних для навчання моделей ШІ. Це можуть бути дані про попередні будівельні проекти, інформація про матеріали, технічні характеристики, фінансові показники, розмір будівельних майданчиків тощо.

**Розробка моделей:** Створення ШІ-моделей, які базуються на зібраних даних. Це включає в себе створення алгоритмів для прогнозування, класифікації, оптимізації та інших завдань.

Етап 2: Оцінка ризиків та перспективи

– Прогнозування ризиків. ШІ використовує алгоритми прогнозування для ідентифікації можливих ризиків та визначення стратегій їх управління [5-10].

Етап 3: Управління ресурсами та постачанням

– Оптимізація логістики. Використання ШІ для прогнозування потреб у будівельних матеріалах та автоматизації управління ланцюжком постачання.

– Планування графіку руху працівників. Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування потреб у робочій силі та оптимізації графіків роботи.

Етап 4: Автоматизація та моніторинг

– Використання автоматизованих систем та дронів, керованих ШІ, для виконання рутинних та небезпечних завдань на будівельному майданчику.

– Моніторинг. Встановлення систем моніторингу, які в режимі реального часу відслідковують прогрес будівельних робіт та інші ключові параметри.

**Тестування та впровадження:** Після розробки моделей їх потрібно протестувати на реальних даних або симуляціях, щоб переконалися у їхній ефективності. Після успішного тестування ШІ може впроваджуватися поступово в реальному будівництві.

**Підтримка та постійне вдосконалення:** Після впровадження системи ШІ важливо забезпечити постійну підтримку, моніторинг та вдосконалення системи з часом. Це включає в себе аналіз її ефективності, оновлення моделей на основі нових даних та технологій.

Етап 5: Оцінка якості та аналіз завершеного проекту

– Використання аналізу даних для оцінки якості, застосування Big-Data аналітики даних та ШІ для оцінки якості виконаних робіт.

– Автоматизована завершальна перевірка. Використання систем ШІ для автоматизованої перевірки виконаних робіт та визначення відповідності стандартам ДБН, технічному завданню на проектування, аналізу запланованих та витрачених ресурсів, аналіз прийнятих рішень та їх наслідків.

Загальна структура, і конкретний план впровадження ШІ в будівництво, представлений на рисунку 1, може відрізнятися залежно від конкретних завдань, доступних технологій та потреби вирішення певних проблем.

Розглянемо на прикладі планування ресурсів в будівництві за допомогою штучного інтелекту. Воно може включати в себе використання різних математичних моделей та алгоритмів для оптимізації використання ресурсів. Ось деякі рівняння та методи, які можуть бути використані:

1. **Лінійне програмування (Linear Programming):** Моделі лінійного програмування можуть бути використані для максимізації чи мінімізації функції, обмеженої лінійними рівняннями. Наприклад, визначення оптимального розподілу ресурсів (працівників, матеріалів) для мінімізації часу виконання проекту.

2. **Моделі регресії:** Вони можуть використовуватися для прогнозування витрат на ресурси в залежності від різних факторів, таких як обсяг робіт, час, типи матеріалів тощо.

3. **Динамічне програмування (Dynamic Programming):** Цей підхід може використовуватися для оптимізації розподілу ресурсів в часі, де рішення на кожному кроці залежить від попередніх рішень.

4. **Моделі оптимізації:** Використання різних алгоритмів оптимізації для знаходження найбільш ефективного розподілу ресурсів з урахуванням обмежень та вимог проекту.

5. **Методи штучного інтелекту (нейронні мережі, генетичні алгоритми тощо):** Вони можуть застосовуватися для навчання моделей, які враховують складні взаємозв'язки між різними параметрами будівельного процесу для оптимізації ресурсів.

Ці методи можуть використовуватися окремо або в комбінації для розв'язання задач планування ресурсів у будівництві за допомогою штучного інтелекту. Конкретний вибір моделей та методів залежить від конкретних потреб проекту та доступних даних.

Переваги застосування штучного інтелекту в будівництві:

1. Оптимізація проектування та планування. ШІ може швидко аналізувати великі обсяги даних та надавати точні прогнози щодо оптимального проектування та планування будівельних об'єктів. Це дозволяє зменшити час розробки проекту та уникнути помилок на етапі планування.

2. Підвищення безпеки та контроль якості. Системи моніторингу, які базуються на штучному інтелекті, можуть надавати реальний час контролю за будівельним процесом. Це сприяє виявленню потенційних ризиків та дозволяє вжити заходів для забезпечення безпеки та високої якості виконання робіт [11-14].

3. Ефективне управління ресурсами. ШІ дозволяє ефективно керувати ресурсами, визначати оптимальні шляхи використання матеріалів та робочої сили. Це сприяє економії витрат та ресурсів, що важливо в умовах постійного зростання вартості будівельних матеріалів.

4. Інновації в конструкціях. Застосування ШІ відкриває можливості для інновацій у конструкціях. Алгоритми штучного інтелекту дозволяють створювати більш ефективні та енергоефективні будівлі, а також вдосконалювати існуючі проекти.

5. Оптимізація витрат та часу: Використання ШІ для оптимізації витрат матеріалів, раціоналізації будівельних процесів та зменшення термінів будівництва.

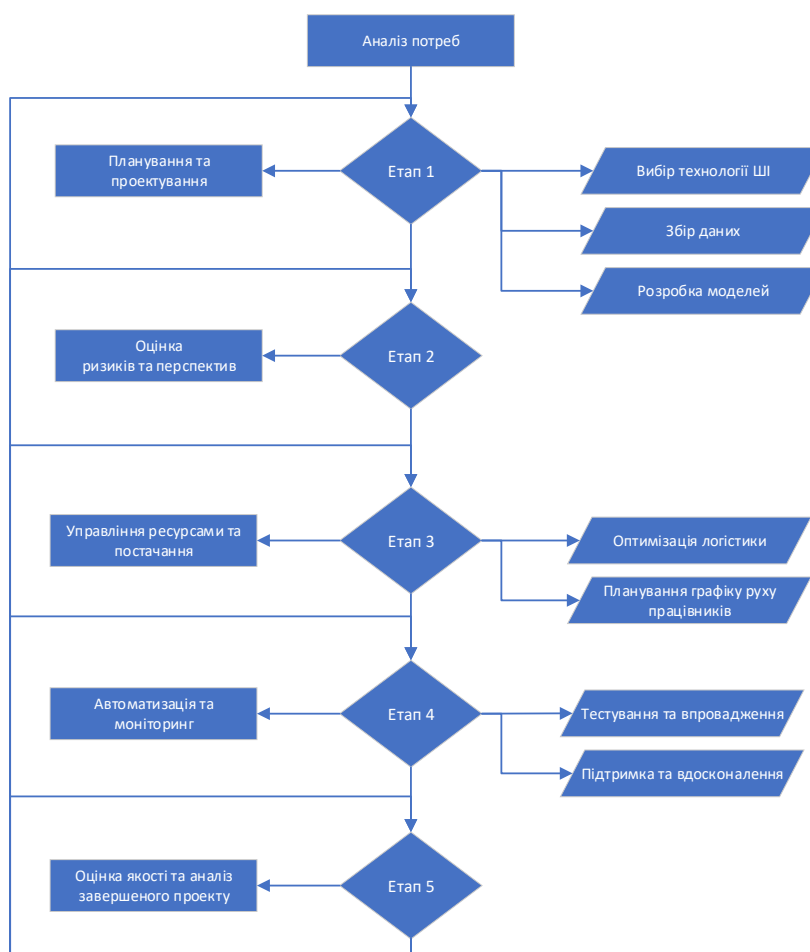


Рисунок 1 – Структура плану впровадження ШІ в будівництво

Недоліки використання штучного інтелекту в будівництві:

1. Високі витрати на впровадження технології. Впровадження систем штучного інтелекту вимагає значних витрат на обладнання та навчання персоналу.

2. Питання конфіденційності та безпеки даних. Збір та обробка великого обсягу даних може викликати питання стосовно конфіденційності та безпеки інформації.

3. Залежність від технологій. Використання ШІ може створити залежність від технологій, і в разі їх відмови може виникнути зупинка будівельних процесів та інфраструктури.

4. Етичні аспекти. Розгортання штучного інтелекту в будівництві вимагає вирішення етичних питань, таких як відповідальне використання даних та уникнення дискримінації в процесі вибору та прийняття рішень.

### Висновки

Штучний інтелект має потенціал кардинально змінити обличчя будівництва, забезпечуючи оптимізацію процесів та підвищуючи ефективність. Проте, важливо звертати увагу на вирішення проблем, таких як вартість впровадження та питання безпеки даних.

Імплементация штучного інтелекту в будівництво відкриває широкі перспективи для розвитку галузі. Прогрес у напрямку вдосконалення технологій, зростання ефективності та підвищення безпеки робочих умов забезпечує стабільний розвиток будівельного сектору.

Активна роль штучного інтелекту в розвитку галузі дозволяє покращити продуктивність будівельних енергоефективних проектів, зменшити ризики та оптимізувати витрати. Попри початкові витрати та технічні труднощі, імплементация штучного інтелекту в будівництво є стратегічно важливим кроком для підвищення конкурентоспроможності галузі.

Забезпечення навчання персоналу та постійне вдосконалення систем штучного інтелекту є ключовими аспектами успішної імплементации. Розумне поєднання технологій та людського досвіду сприятиме розвитку будівельної сфери та забезпечить сталість у сучасному технологічному середовищі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» / уклад. : А.С. Савченко, О. О. Синельников. К. : НАУ, 2017. 190 с.
2. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. Мелітополь: ФОП Одророг Т.В., 2019. 264 с.
3. <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-pryamih-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-syagaye-151-2-mlrd-otsinka-stanom-na-1-veresnya-2023-roku/>
4. Лялюк О. Г., Ратушняк О. Г. Організаційно-економічні інструменти екологічного менеджменту в будівництві. Проблеми формування конкурентоспроможності підприємств за умов нестабільності світової економіки. Матеріали доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. м. Вінниця, 27 квітня 2009 року. - Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. С. 174-176.
5. Sofiat O. Abioye a, Lukumon O. Oyedele a\*, Lukman Akanbi a,b, Anuluwapo Ajayi a, Juan Manuel Davila Delgado a, Muhammad Bilal a, Olugbenga O. Akinade a, Ashraf Ahmed c. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges.
6. Applications of Artificial Intelligence in Construction, Ar. Gayatri Patil, Allana College of Architecture, Pune India
7. N. Yau and J. Yang, Case-Based Reasoning in Construction Management, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering (1998).
8. R. Fayek Aziz, S. M. Hafez and Y. R. Abuel-Magd, Smart optimization for mega construction projects using artificial intelligence, Alexandria Engineering Journal (2014)
9. M. Jaina and K.K. Pathak, Applications of Artificial Neural Network in Construction Engineering and Management - A Review, International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences, Volume 2 Issue 3(2014)
10. H. Gunaydin Murat, and Z. D. S. gan, A neural network approach for early cost estimation of structural systems of building, International Journal of Project Management 22, 595–602 (2004).<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.002>
11. S. H. Iranmanesh and M. Zarezadeh, Application of Artificial Neural Network to Forecast Actual Cost of a Project to Improve Earned Value Management System, World Academy of Science, Engineering and Technology, 210–213 (2008)
12. K. Gwang-Hee, Y. Jie-Eon, S. Ana, Chob, Hun-Hee, Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs, Building and Environment, 39, 1333–1340 (2004).<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.03.009>
13. Cheung, S. On and W. P. S. Pui and F. Ada and Coffey, Vaughan, Predicting project performance through neural networks, International Journal of Project Management, 24(3), 207–215 (2006).<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.08.001>
14. M. B. Murtaza, and D. J. Fisher, Neuromodex: Neural network system for modular construction decision, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 8(2), 221–223 (1994).[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1994\)8:2\(221\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1994)8:2(221))

### REFERENCES

1. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv napryamu pidhotovky 6.050101 «Komp'yuterni nauky» / uklad. : A.S. Savchenko, O. O. Synel'nikov. K. : NAU, 2017. 190 s.
2. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: navch. posib. / ukl. D.V. Lubko, S.V. Sharov. Melitopol': FOP Odnoroh T.V., 2019. 264 s.
3. <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-pryamih-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-syagaye-151-2-mlrd-otsinka-stanom-na-1-veresnya-2023-roku/>
4. Lyalyuk O. H., Ratushnyak O. H. Orhanizatsiyno-ekonomichni instrumenty ekolohichnoho menedzhmentu v budivnytstv. Problemy formuvannya konkurentospromozhnosti pidpryyemstv za umov nestabil'nosti svitovoyi ekonomiky. Materialy

dopovidey Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. m. Vinnytsya, 27 kvitnya 2009 roku. - Vinnytsya : UNIVERSUM-Vinnytsya, 2009. S. 174-176.

5. Sofiat O. Abioye a, Lukumon O. Oyedele a,\* , Lukman Akanbi a,b, Anuoluwapo Ajayi a, Juan Manuel Davila Delgado a, Muhammad Bilal a, Olugbenga O. Akinade a, Ashraf Ahmed c. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges.
6. Applications of Artificial Intelligence in Construction, Ar. Gayatri Patil, Allana College of Architecture, Pune India
7. N. Yau and J. Yang, Case-Based Reasoning in Construction Management, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering (1998).
8. R. Fayek Aziz, S. M. Hafez and Y. R. Abuel-Magd, Smart optimization for mega construction projects using artificial intelligence, Alexandria Engineering Journal (2014)
9. M. Jaina and K.K. Pathak, Applications of Artificial Neural Network in Construction Engineering and Management - A Review, International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences, Volume 2 Issue 3(2014)
10. H. Gunaydin Murat, and Z. D. S. gan, A neural network approach for early cost estimation of structural systems of building, International Journal of Project Management 22, 595–602 (2004).<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.002>
11. S. H. Iranmanesh and M. Zarezadeh, Application of Artificial Neural Network to Forecast Actual Cost of a Project to Improve Earned Value Management System, World Academy of Science, Engineering and Technology, 210–213 (2008)
12. K. Gwang-Hee, Y. Jie-Eon, S. Ana, Chob, Hun-Hee, Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs, Building and Environment, 39, 1333–1340 (2004).<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.03.009>
13. Cheung, S. On and W. P. S. Pui and F. Ada and Coffey, Vaughan, Predicting project performance through neural networks, International Journal of Project Management, 24(3), 207–215 (2006).<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.08.001>
14. M. B. Murtaza, and D. J. Fisher, Neuromodex: Neural network system for modular construction decision, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 8(2), 221–223 (1994).[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1994\)8:2\(221\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1994)8:2(221))

**Лялюк Олена Георгіївна** – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, науковий керівник. e-mail: [Lyalyuk74@gmail.com](mailto:Lyalyuk74@gmail.com) ORCID 0000-0001-6446-9244

**Осипенко Роман Сергійович** – студент 2-го курсу магістратури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [r.osypenko@uhe.gov.ua](mailto:r.osypenko@uhe.gov.ua). ORCID 0009-0002-9503-7297

**O. Lialiuk  
R. Osypenko**

## FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION

Vinnytsia financial and economic University

*The paper considers the implementation of artificial intelligence(AI) in the construction industry. The main directions of AI implementation at five stages of designing buildings and structures, organization of construction and operation have been determined. At the first stage of "Planning and Design", information on similar construction projects should be collected and analyzed, taking into account financial resources, deadlines, features of buildings and other important factors, use automated design that takes into account geodetic data, geological features, climatic conditions, urban planning requirements, specifications and other factors to optimize the design. At the second stage, "Assessment of risks and prospects", AI uses forecasting algorithms to identify possible risks and determine their management strategies. The third stage, "Resource and supply management", optimizes logistics to predict building material needs and automates supply chain management, employee scheduling using machine learning algorithms to predict labor needs and optimize schedules. The fourth stage, "Automation and Monitoring", uses automated systems and drones controlled by artificial intelligence to perform routine and dangerous tasks on the construction site, and deploys a monitoring system that tracks the progress of construction work and other key parameters in real time. At the fifth stage, "Quality assessment and analysis of the completed project", data analysis is used to assess the quality of the completed work, automated verification of the completed work and determination of compliance with DBN standards, the technical task for the design, analysis of planning and spent resources.*

*The application of artificial intelligence is considered on the example of resource planning in construction, which may include the use of various mathematical models and algorithms to optimize the use of resources. The advantages and disadvantages of the use of artificial intelligence and the prospects for its development in the construction industry are indicated.*

**Key words:** artificial intelligence, enterprise, machine learning, artificial intelligence challenges, artificial intelligence opportunities, construction industry, robotics

**Lialiuk Olena** - Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: [Lyalyuk74@gmail.com](mailto:Lyalyuk74@gmail.com)

**Osypenko Roman**- 2nd year master's student, group 2B-21m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [r.osypenko@uhe.gov.ua](mailto:r.osypenko@uhe.gov.ua)