

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ В БУДІВНИЦТВІ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Вінницький національний технічний університет

*Анотація* У роботі розглянуто імплементацію штучного інтелекту в процеси моделювання та оцінки ризиків із застосуванням мереж Байєса в будівельній галузі. Розглянуто можливість інтеграції набутого досвіду в систему підтримки прийнятті рішень по зменшенню ризиків.

*Ключові слова:* Штучний інтелект, ризики, мережі Байєса, системи підтримки прийняття рішень, будівництво, оцінка та моделювання, ідентифікація та класифікація, стратегія мінімізації ризиків, дерево прийняття рішень.

## **Abstract**

*The paper considers the implementation of artificial intelligence in the processes of modeling and risk assessment using Bayesian networks in the construction industry. The possibility of integrating the acquired experience into the decision-making support system for risk reduction was considered.*

*Keywords:* Artificial intelligence, risks, Bayesian networks, decision support systems, construction, assessment and modeling, identification and classification, risk minimization strategy, decision tree.

## **Вступ**

Методи оцінки ризиків у будівельних проектах різноманітні, у різних дослідженнях пропонуються різні методології для усунення притаманних невизначеностей і складності будівельних проектів. Оцінка ризиків у будівництві – це важливий процес, який допомагає ідентифікувати, аналізувати та зменшувати потенційні небезпеки та невизначеності, пов'язані з будівельним проектом. Цей процес включає кілька етапів, включаючи ідентифікацію ризику, аналіз ризику (як якісний і кількісний), оцінку ризику та планування пом'якшення ризику або реагування.

## **Основна частина**

Моделювання ризиків в будівництві є ключовим елементом для успішного управління проектами, дозволяючи прогнозувати потенційні проблеми та розробляти стратегії їх мінімізації або уникнення. Використання штучного інтелекту (ШІ), зокрема методів мереж Байєса, дозволяє значно підвищити ефективність аналізу ризиків завдяки їх здатності обробляти нечітку інформацію та враховувати невизначеності. Нижче представлено основні етапи моделювання ризиків в будівництві з використанням мереж Байєса:

### *1. Ідентифікація та класифікація ризиків.*

Першим кроком є визначення потенційних ризиків, які можуть вплинути на проект. Використання інструментів штучного інтелекту (ШІ) та алгоритмів машинного навчання для аналізу історичних даних про проекти з метою ідентифікації потенційних ризиків. Це може включати наступні ризики: проектні, юридичні, фінансові, технічні, технологічні, логістичні, експлуатаційні, безпекові, природного характеру, людський фактор, тощо. Зазвичай використовуються такі методи ідентифікації, як мозковий штурм, контрольні списки та SWOT-аналіз (сильні сторони, слабкі сторони, можливості, загрози)[1-5].

### *2. Розробка структури мережі Байєса.*

Структура мережі Байєса для оцінки ризиків в будівництві, яка використовує штучний інтелект, дозволяє інтегрувати та аналізувати великі обсяги даних, ідентифікуючи залежності та ймовірності між різними ризиками.[6-9] Ось як може бути організована така мережа:

Вузли мережі відображають окремі ризики, тоді як зв'язки між вузлами відображають потенційні причинно-наслідкові залежності або кореляції між ризиками. Наприклад:

- Технічні ризики можуть збільшувати фінансові ризики через потребу в додаткових ресурсах для вирішення несподіваних технічних проблем.
- Проектні ризики тісно пов'язані з технологічними ризиками, оскільки недоліки в проектуванні можуть обмежувати впровадження новітніх технологій.

- Логістичні ризики впливають на експлуатаційні ризики, адже проблеми з доставкою матеріалів можуть затримати введення об'єкта в експлуатацію.
- Ризики природного характеру можуть підсилити логістичні ризики, особливо в регіонах з високим ризиком природних чи безпекових умов.

Умовні ймовірності асоційовані з кожним зв'язком, дозволяючи оцінити вплив одних ризиків на інші. Використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє динамічно оновлювати ці ймовірності на основі нових даних та досвіду.

### 3. Аналіз ризиків

Аналіз мережі з використанням алгоритмів ШІ може виявити найбільш критичні ризики, які вимагають негайного втручання, та розробити оптимальні стратегії реагування на ризики, враховуючи їх взаємний вплив та ймовірність. Якісний аналіз ризику передбачає оцінку впливу та ймовірності виявлених ризиків за допомогою описових термінів (наприклад, низький, середній, високий). Загальним інструментом для цього є матриця ризиків, яка допомагає визначити пріоритетність ризиків на основі їх серйозності у відповідності до технологічних процесів [7,8,10].

Кількісний аналіз ризиків передбачає чисельні методи оцінки ймовірності та впливу ризиків, наприклад: чиста приведена вартість (NPV).

### 4. Оцінка ризику

Цей крок передбачає порівняння результатів аналізу ризику з критеріями ризику, встановленими на етапі планування. Це допомагає вирішити, які ризики потрібно розглянути та визначити пріоритетність дій[5].

### 5. Розробка стратегій мінімізації ризиків

Стратегії пом'якшення ризику можуть включати передачу ризику, уникнення ризику, пом'якшення ризику або його прийняття. Для вибору найбільш підходящої стратегії пом'якшення наслідків зазвичай використовуються дерева рішень і аналіз витрат і вигод (рис. 1).

Матриця ризиків: сітка, яка відображає ймовірність ризиків у порівнянні з їхнім впливом, допомагаючи візуалізувати пріоритетні ризики

Дерева рішень: діаграма (рис. 1), яка відображає можливі рішення та їхні потенційні результати, включаючи ризики, щоб допомогти вибрати найкращий курс дій.

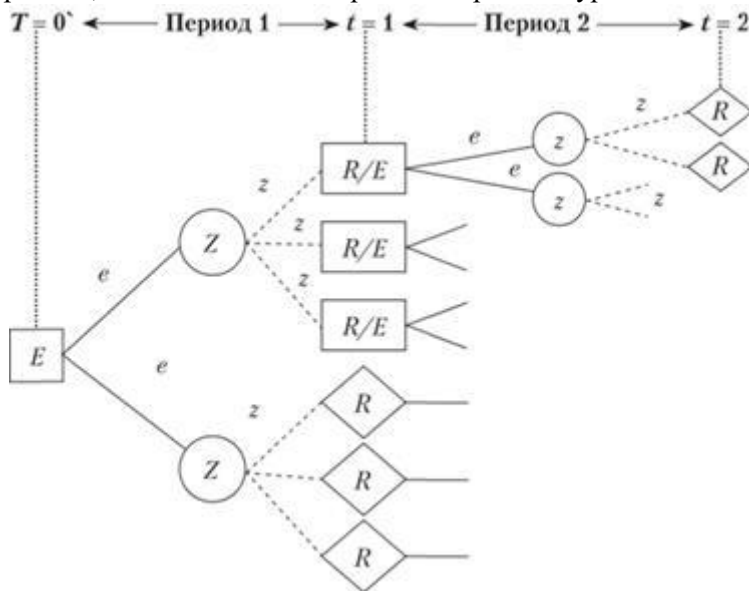


Рисунок 1. Формальна структура "дерева рішень":

$E$  - вузол рішення, тобто вузол, що характеризує момент прийняття рішення;  $e$  - лінія, що представляє альтернативу рішення;  $Z$  - вузол події, тобто вузол, що позначає випадкова подія;  $z$  - лінія, що описує стан навколишнього середовища, що стала наслідком настання випадкової події;  $R$  - вузол результату, тобто вузол, що позначає результати, пов'язані з певними альтернативними рішеннями і станами навколишнього середовища;  $R / E$  - вузол, що позначає наявність певного результату і необхідність прийняття рішення

Аналітик проекту, що здійснює побудову "дерева рішень", для формулювання різних сценаріїв розвитку проекту повинен володіти необхідною і достовірною інформацією з урахуванням ймовірності і часу їх настання.

Можна запропонувати наступну послідовність збору даних для побудови "дерева рішень":

- визначення складу і тривалості фаз життєвого циклу проекту;
- визначення ключових подій, які можуть вплинути на подальший розвиток проекту;
- визначення часу настання ключових подій;
- формулювання усіх можливих рішень, які можуть бути прийняті в результаті настання кожного ключового події;
- визначення ймовірності прийняття кожного рішення;
- визначення вартості кожного етапу здійснення проекту (вартості робіт між ключовими подіями) в поточних цінах.

На підставі отриманих даних будується "дерево рішень", структура якого містить вузли, що представляють собою ключові події (точки прийняття рішень), і гілки, що з'єднують вузли, - роботи з реалізації проекту.

У результаті побудови "дерева рішень" розраховуються ймовірність кожного сценарію розвитку проекту, NPV по кожному сценарієм, а також ряд інших принципово важливих як для аналізу ризиків проекту, так і для прийняття управлінських рішень показників.

Побудова "дерева рішень" зазвичай використовується для проектів, які мають доступне для огляду кількість варіантів розвитку. В іншому випадку "дерево рішень" приймає дуже великий обсяг, так що утруднюється не тільки обчислення оптимального рішення, але й визначення даних.

Метод корисний у ситуаціях, коли більш пізні рішення сильно залежать від рішень, прийнятих раніше, але, у свою чергу, визначають подальший розвиток подій.

## ВИСНОВКИ

Використання штучного інтелекту та мереж Байєса у процесах моделювання та оцінки ризиків у будівельній індустрії відкриває нові можливості для ефективного управління проектами, забезпечуючи високу точність аналізу та гнучкість у прийнятті рішень. Ці інструменти дозволяють комплексно аналізувати потенційні ризики, оцінювати їх вплив та розробляти стратегії мінімізації або уникнення, тим самим знижуючи ймовірність непередбачених проблем і підвищуючи впевненість у успішному завершенні будівельних проектів. Отже, інтеграція штучного інтелекту і мереж Байєса в системи підтримки прийняття рішень стає важливим кроком на шляху до підвищення ефективності управління ризиками в будівництві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лялюк О. Г. Організаційно-економічні інструменти екологічного менеджменту в будівництві [Текст] / О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк // 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.
2. Лялюк О.Г., Осипенко Р.С. Особливості імплементації штучного інтелекту в будівництві» Організація, управління та економіка в будівництві. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». - Вінниця: Універсам - Вінниця, № 2, 2023. – С.172-176. DOI 10.31649/2311-1429-2023-2-172-176.
3. Лялюк О.Г., Осипенко Р.С. Імплементація штучного інтелекту в будівництві. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2023», м. Вінниця, 21.11.2023. С.150-154.[Електронний ресурс]. Режим доступу <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egew/egew2023/paper/view/19369>.
4. 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.
5. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264 с.
6. Spirtes P. Causation, prediction and search / P. Spirtes, C. Glymour and R. Scheines // Adaptive computation and machine learning, MIT press. – January 2001. – 565 p.
6. Jouffe L. New search strategies for learning Bayesian networks / Jouffe L. and Munteanu P. // Proc. of tenth international symposium on applied stochastic models and data analysis (ASMDA 2001). – Compiegne (France). 12 – 15 June 2001. – Vol. 2. – P. 591-596.

7. Spirtes P. Heuristic greedy search algorithms for latent variable models / P. Spirtes, T. Richardson and C. Meek // Proc. of artificial intelligence and structural algorithm maximization mathematics (AI & Statistics 1997), Fort Lauderdale (Florida). – 1997. – P. 481-488.
8. Verma T. Equivalence and synthesis of causal models / T. Verma and J. Pearl // Proc. of the sixth international conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'90), Cambridge, Massachusetts, (USA), 27 – 29 July, 1990. – NY. : Elsevier science, 1991. – P. 255-270.
9. Sebastiani P. Bayesian inference with missing data using bound and collapse / P. Sebastiani and M. Ramoni // Journal of Computational and Graphical Statistics. – 2000. – Vol. 9, № 4. – P. 779-800.
10. Dempster A.P. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm / A.P. Dempster, N.M. Laird and D.B. Rubin // Journal of the Royal Statistical Society. – 1977. – Vol. 39, № 1. – P. 1-38.
11. Friedman N. The Bayesian structural EM algorithm / Friedman N. // Fourteenth conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'98), Madison, Wisconsin, (USA), 24 – 26 July, 1998. – SF. : Morgan Kaufmann, 1998. – P. 129-138.

---

**Осипенко Роман Сергійович** – студент 2-го курсу магістратури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, roma.osipenko@gmail.com

**Лялюк Олена Георгіївна** – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, науковий керівник. e-mail: Lyalyuk74@gmail.com

**Osypenko Roman**- 2nd year master's student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, roma.osipenko@gmail.com

**Lialyuk Elena** - Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: Lyalyuk74@gmail.com