

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-22мз  
спеціальності

192 Будівництво та цивільна  
інженерія

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Осипенко Р. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент

(вчений ступінь, посада)

Лялюк О.Г.

Лялюк О.Г.

(прізвище та ініціали)

«17» ТРАВНЯ 2024 р.

Опонент: к.т.н., доцент

(вчений ступінь, посада)

Степанова Н. Д.

Степанова Н. Д.

(прізвище та ініціали)

«7» ЧЕРВНЯ 2024 р.

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри БМГА

к.т.н., доцент В.В. Швець

(прізвище та ініціали)

«10» ЧЕРВНЯ 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет  
 Факультет Будівництва, теплоенергетики та газопостачання  
 Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури  
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
 Галузь знань 19 Архітектура та будівництво  
 Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
 Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри БМГА

Швець В. В.

15 березня 2024 року

### ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Осипенко Роману Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві**

керівник роботи к.т.н., доцент кафедри БМГА Лялюк О.Г.  
 затверджені наказом вищого навчального закладу від "11" 03 2024 року №81

2. Строк подання студентом роботи 31.05.2024 року

3. Вихідні дані до роботи: результати попередніх досліджень, результати огляду літературних джерел, законодавча – нормативна база.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація).

1. Огляд літературних джерел, Вітчизняний та зарубіжний досвід.

2. Дослідження факторів ризику в будівництві.

3. Експертно-модельюча система прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків на базі штучного інтелекту

4. Економічна частина (визначення економічного ефекту від впровадження результатів наукової розробки). Висновки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Науково-дослідний розділ – 8 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Науковий розділ	Лялюк О.Г., к.т.н., доцент кафедри БМГА	<i>Лялюк</i>	<i>Лялюк</i>
Економічна частина	Лялюк О.Г., к.т.н., доцент кафедри БМГА	<i>Лялюк</i>	<i>Лялюк</i>

7. Дата видачі завдання 15.03.2024 року  
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ сл/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання технічного завдання та вступу до МКР	01.02-06.02.24	
2	Написання першого розділу МКР	07.02-15.03.24	
3	Написання другого розділу МКР	18.03-29.03.24	
4	Написання третього розділу МКР	30.03-15.04.24	
5	Подання роботи на перевірку на плагіат	16.04-21.04.24	
7	Економічна частина	22.04-30.04.24	
8	Оформлення МКР	01.05-12.05.24	
9	Подання МКР на кафедру для перевірки	13.05-17.05.24	
10	Попередній захист	3.06-6.06.24	
11	Опонування	7.06-10.06.24	

Студент

*Осипенко Р.С.*  
(підпис)

Керівник роботи

*Лялюк О.Г.*  
(підпис)

УДК69.059.23:

Осипенко  
будівництві. М  
«Будівництво т  
цивільне буди  
Обсяг работ

У магістерс  
оптимізації сист  
сучасних технол  
експертно-модел  
рішень для змен  
експлуатації буди

Розглянуто в  
прийняття рішень  
практичні приклад  
проектах, що дем  
підвищенні економ

Основні резул  
оцінки ризиків, впр  
порівняльний анал  
порівнянні з традиц

Ключові слова  
мережі Байєсса, си  
оптимізація.

## АНОТОЦІЯ

УДК69.059.23: 519.23

Осипенко Р.С. Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія», освітня програма – «Промислове та цивільне будівництво». Вінниця: ВНТУ, 2024. 162 с.

Обсяг роботи на укр. мові: 88 стор.; бібліогр.: 29 назв; рис.: 28; табл.: 13.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено методики оцінки та оптимізації систем управління ризиками в будівництві з використанням сучасних технологій штучного інтелекту та мереж Байєса. Описано розробку експертно-моделюючої системи прийняття організаційно-технологічних рішень для зменшення ризиків на етапах проектування, будівництва та експлуатації будівельних об'єктів.

Розглянуто можливості інтеграції цих методів у систему підтримки прийняття рішень на основі аналізу ризиків і побудови дерева рішень. Описано практичні приклади використання створеної системи на реальних будівельних проектах, що демонструє її ефективність у зменшенні кількості помилок і підвищенні економічної ефективності будівництва.

Основні результати дослідження включають розробку алгоритмів для оцінки ризиків, впровадження системи підтримки прийняття рішень, а також порівняльний аналіз ефективності використання розроблених методів у порівнянні з традиційними підходами.

Ключові слова: управління ризиками, будівництво, штучний інтелект, мережі Байєса, система підтримки прийняття рішень, дерево рішень, оптимізація.

## ABSTRACT

УДК69.059.23: 519.23

Osypenko R.S. Evaluation and Optimization of Risk Management Systems in Construction. Master's Thesis in the specialty 192 - "Construction and Civil Engineering", educational program - "Industrial and Civil Construction". Vinnytsia: VNTU, 2024. 162 p.

Scope of work: In Ukrainian language:88 Bibliogr.: 28 titles; fig.: 28; tab.: 13.

This Master's thesis investigates the methodologies for evaluating and optimizing risk management systems in construction using modern artificial intelligence technologies and Bayesian networks. The development of an expert-modeling decision support system for reducing risks at the design, construction, and operation stages of construction projects is described.

The potential integration of these methods into a decision support system based on risk analysis and decision tree construction is considered. Practical examples of the developed system's application to real construction projects are provided, demonstrating its effectiveness in reducing errors and increasing the economic efficiency of construction.

The main results of the research include the development of algorithms for risk assessment, the implementation of a decision support system, and a comparative analysis of the effectiveness of the developed methods compared to traditional approaches.

Keywords: risk management, construction, artificial intelligence, Bayesian networks, decision support system, decision tree, optimization.

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В БУДІВНИЦТВІ _____	8
1.1 Історія розвитку методів і систем управління ризиками у будівництві ____	8
1.2 Методи оцінки ризиків _____	12
1.3 Етапи оцінки ризиків _____	16
1.3.1 Ідентифікація ризиків _____	16
1.3.2 Аналіз ризиків _____	16
1.3.3 Оцінка ризику _____	17
1.3.4 Зменшення ризиків _____	17
1.4 Застосування технологій штучного інтелекту при розробці експертних систем в будівництві _____	21
1.5 Перспективи імплементації ШІ в Україні. Переваги та недоліки ШІ в будівництві _____	26
1.6 Законодавча база щодо імплементації штучного інтелекту _____	28
Висновок до розділу 1 _____	31
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВНИЦТВІ _____	32
2.1 Розвиток систем підтримки прийняття рішень у будівництві _____	32
2.2 Визначення коштів на покриття ризику усіх учасників будівництва в кошторисній документації _____	34
Висновок до розділу 2 _____	36
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРТНО-МОДЕЛЮЮЧА СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПО ЗМЕНШЕННЮ РИЗИКІВ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ _____	37
3.1 Формалізація факторів, що впливають на вибір моделі управління проектами по зменшенню ризиків _____	37



3.2 Байєсівські мережі в технологіях інтелектуального аналізу даних _____	46
3.3 Моделювання управлінням організаційно-технологічними рішеннями по зменшенню ризиків на базі мереж Байєса _____	57
3.4 Порівняльний розрахунок ймовірностей за умови застосування BIM-технологій в будівельних проектах _____	61
3.5 Аналіз систем управління ризиками в будівництві _____	68
3.6 Обмеження байєсівських мереж у будівельних експертних системах _____	69
3.7 Оцінка експертних систем управління ризиками на основі мереж Байєса _____	69
3.8 Оптимізація експертних систем управління ризиками на основі байєсівських мереж _____	73
Висновок до розділу 3 _____	78
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА _____	79
4.1 Розрахунок величини ризиків всіх учасників будівництва _____	79
4.2 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки на основі мереж Байєса _____	82
Висновки до розділу 4 _____	82
ВИСНОВКИ _____	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ _____	85
ДОДАТКИ _____	
ДОДАТОК А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень _____	
ДОДАТОК Б Відомість аркушів графічної частини _____	
ДОДАТОК В Акт впровадження _____	

## ВСТУП

### Актуальність теми

В умовах стрімкого розвитку технологій та постійного зростання обсягів даних, які необхідно обробляти для прийняття ефективних управлінських рішень, виникає потреба в удосконаленні методів інтелектуального аналізу даних. Байєсівські мережі, як один із методів, дозволяють не тільки моделювати складні системи, але й ефективно прогнозувати можливі наслідки різних рішень, що особливо актуально в умовах невизначеності та ризику. Ця тема є особливо важливою для застосування в будівельній галузі, де точність і своєчасність прийняття рішень мають критичне значення для успіху проектів.

### Метою досліджень є

Метою даного дослідження є розробка та вдосконалення методології застосування байєсівських мереж для оцінки ризиків та прийняття рішень в будівельних проектах.

### Задачі досліджень:

1. Провести аналіз існуючих методів оцінки ризиків в будівництві та виявити їх недоліки.
2. Розробити модель байєсівської мережі для оцінки ризиків в будівельних проектах.
3. Провести апробацію розробленої моделі на реальних даних будівельних проектів.
4. Визначити ефективність використання байєсівських мереж для зменшення невизначеності та покращення процесу прийняття рішень.

### Об'єктом досліджень

Об'єктом дослідження є процеси оцінки ризиків та прийняття рішень у будівельних проектах.



### Предмет дослідження

Предметом дослідження є методологія застосування байєсівських мереж для оцінки ризиків у будівельних проектах.

### Методи дослідження

У дослідженні використовуються методи інтелектуального аналізу даних, моделювання, статистичні методи, методи теорії ймовірностей та байєсівські мережі.

### Наукова новизна роботи

Наукова новизна роботи полягає у розробці нової моделі байєсівської мережі, яка дозволяє ефективніше оцінювати та прогнозувати ризики в будівельних проектах, враховуючи залежності між різними типами ризиків.

- дістало подальший розвиток встановлення залежності ризиків в будівництві від багатофакторних показників;

- розроблені моделі управління організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків на базі мереж Байєса на проектному, будівельному та експлуатаційних рівнях;

- вперше створена експертно-моделююча система прийняття ефективних рішень при виборі організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків, що дозволяє управляти проектами диференційовано в залежності від доступної експертної інформації.

### Практична цінність роботи

Практична цінність роботи полягає в можливості застосування розробленої методології для зменшення ризиків і підвищення ефективності управління будівельними проектами. Це дозволить знизити витрати та підвищити якість реалізації проектів.

### Особистий внесок магістранта

Особистий внесок магістранта полягає у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, розробці моделі байєсівської мережі та її апробації на реальних даних, а також в аналізі отриманих результатів.

## Апробація результатів роботи

Результати дослідження були представлені на наукових конференціях, зокрема на Всеукраїнській науково-практичній конференції з питань штучного інтелекту та інтелектуального аналізу даних, та опубліковані у фахових виданнях.

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 2 тези конференцій: 1. Виступ на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України 2023», який відбувся 21-23 листопада 2023 року. 2. Виступ на 53-ій Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ м. Вінниця, 21-23 березень 2024 р.

За темою роботи підготовлено публікації:

1. Р. С. Осипенко, О. Г. Лялюк. Імплементация штучного інтелекту в будівництві. Енергоефективність в галузях економіки України 2023: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції., м. Вінниця, 21-23 листопада 2023 р. Вінниця, 2023. С.248-251. [Електронний ресурс]. Режим доступу

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19369>

2. Р. С. Осипенко, О. Г. Лялюк. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ В БУДІВНИЦТВІ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ . 53-а Всеукраїнська науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ.. м. Вінниця, 21- 23 березень 2024 р. С. 1492-1494 [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/832/1453/2726-1> С.1482-1486.

3. Р.С. Осипенко, О. Г. Лялюк. Особливості імплементации штучного інтелекту в будівництві. „Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”. Вінниця: Універсам - Вінниця, № 2, 2023. С.172-176.

4. Р. С. Осипенко, О. Г. Лялюк, Д.О. Мельник. СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ

БАЙЄСА. „Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”.  
Вінниця: Універсам - Вінниця, № 1, 2024. С.169-176.

Структура та обсяг магістерської кваліфікаційної роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінок, включаючи 28 рисунків та 13 таблиць.

## **РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В БУДІВНИЦТВІ**

### **1.1 Історія розвитку методів і систем управління ризиками у будівництві**

Управління ризиками є важливим аспектом будь-якого будівельного проекту. Відсутність належного управління ризиками може призвести до значних фінансових втрат, затримок та погіршення якості робіт. Історія розвитку методів та систем управління ризиками в будівництві відображає еволюцію підходів до ідентифікації, аналізу та мінімізації потенційних загроз. У цьому розділі розглядається розвиток цих методів та систем від ранніх стадій будівництва до сучасного стану [1,2].

#### **Ранні етапи розвитку**

На ранніх етапах будівництва управління ризиками не було систематичним або формалізованим. Основні ризики пов'язані з природними умовами, такими як погода або ґрунт, а також людським фактором. Відсутність технологій та знань обмежувала можливості передбачення та управління ризиками. Початок систематичного управління ризиками у будівництві можна простежити до середини ХХ століття. Акінтой і Маклеод (1997) зазначають, що у 1990-х роках більшість будівельних компаній рідко використовували формальні методи управління ризиками через брак знань та сумніви щодо їхньої доцільності [3,4].

Індустріальна революція призвела до значних змін у будівництві. З'явилися нові технології та матеріали, що збільшило складність проектів та вимагало більш систематичного підходу до управління ризиками. У цей період почали розробляти перші формальні методики ідентифікації та оцінки ризиків [2,4].

#### **20 століття: Формалізація процесів**

У 20 столітті розвиток науки та технологій значно вплинув на будівельну галузь. З'явилися стандарти та нормативи, які вимагали впровадження систем управління ризиками. Одним з ключових моментів було створення методологій, таких як метод критичного шляху (CPM) та метод програми оцінки та огляду

(PERT). Ці методи дозволили більш точно планувати та контролювати будівельні проекти, враховуючи потенційні ризики [1,4].

#### Поява програмного забезпечення

З кінця 20 століття розвиток комп'ютерних технологій сприяв появі спеціалізованого програмного забезпечення для управління ризиками в будівництві. Це програмне забезпечення дозволяло більш точно моделювати та аналізувати ризики, а також розробляти стратегії їх мінімізації. Системи, такі як Primavera та Microsoft Project, стали стандартом в галузі [4,5].

#### Сучасний стан та майбутні тенденції

Сьогодні управління ризиками у будівництві є комплексним процесом, який включає різні етапи від ідентифікації та аналізу ризиків до прийняття рішень та контролю. Використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, дозволяє автоматизувати процеси ідентифікації та оцінки ризиків, а також розробляти більш ефективні стратегії управління. В майбутньому очікується подальший розвиток інтегрованих систем управління ризиками, які будуть враховувати всі аспекти будівельних проектів [5,6].

Приклади управління ризиками на різних етапах розвитку будівельних проектів

#### Концептуальна фаза

На концептуальному етапі розвитку будівельного проекту основним завданням є ідентифікація можливих ризиків та розробка стратегій для їх уникнення або зменшення. Важливо використовувати інформаційні технології для інтеграції різних систем та підвищення ефективності управління ризиками [7,8].

#### Етап планування

На етапі планування важливо проводити детальний аналіз ризиків, щоб забезпечити успішне виконання проекту. Систематичний підхід до управління ризиками включає їх ідентифікацію, оцінку та розробку відповідних заходів реагування [8,9].

#### Етап проектування

На етапі проектування управління ризиками включає розробку організаційних та технологічних рішень для мінімізації можливих проблем. Важливо створити та використовувати реєстр ризиків, що дозволяє виявляти початкові ризики та мінімізувати їх вплив на проект [9,10].

#### Етап реалізації

Під час реалізації проекту управління ризиками включає моніторинг та контроль ризиків, а також адаптацію планів відповідно до змінних умов. Інтеграція системи управління ризиками на всіх етапах проекту забезпечує його успішне виконання [10,11].

#### Інноваційні проекти

Управління ризиками в інноваційних будівельних проектах є особливо важливим через високий рівень складності та застосування нових технологій. Наприклад, управління ризиками при будівництві енергоефективної будівлі в Кракові включало використання дво-параметричної матриці ризиків та розробку стратегій реагування [11,12].

Будівельна галузь є складним сектором, що включає численних зацікавлених сторін, обширне планування та значні фінансові інвестиції. Щоб впоратися з цими складнощами, розвиток систем підтримки прийняття рішень (СППР) став необхідним. Ці системи підвищують ефективність процесів прийняття рішень за допомогою передових технологій та методологій.

#### Розуміння систем підтримки прийняття рішень (СППР)

Системи підтримки прийняття рішень є класом комп'ютерних інформаційних систем, які підтримують діяльність з прийняття бізнесових або організаційних рішень. У будівництві СППР надають важливі інструменти для менеджерів проектів, інженерів та інших зацікавлених сторін для прийняття обґрунтованих рішень. Ці системи включають різноманітні технології, такі як аналіз даних, штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання, для обробки великих обсягів даних та створення корисних висновків [17,18].

#### Фактори ризику в будівельних проектах

Однією з критичних областей, де СППР є незамінними, є аналіз факторів ризику. Будівельні проекти за своєю суттю є ризикованими через їхню складність, тривалість та участь багатьох сторін. Фактори ризику в будівництві можуть включати фінансові ризики, загрози безпеці, питання відповідності нормативним вимогам та вплив на довкілля. СППР можуть допомогти визначити, оцінити та зменшити ці ризики за допомогою прогнозного моделювання та сценарного аналізу [19].

Аналізуючи історичні дані та поточні параметри проекту, СППР можуть передбачати потенційні проблеми та надавати ранні попередження. Такий проактивний підхід дозволяє менеджерам проектів впроваджувати превентивні заходи, зменшуючи ймовірність затримок проекту, перевищення витрат та інших негативних наслідків.

#### Підвищення ефективності проекту

Ефективність будівельних проектів значною мірою залежить від здатності приймати своєчасні та обґрунтовані рішення. СППР підвищують ефективність, надаючи дані та висновки в реальному часі, що дозволяє командам проекту швидко реагувати на змінні умови. Наприклад, під час будівельної фази СППР можуть моніторити прогрес, використання ресурсів та відповідність графіку проекту. Якщо відбуваються відхилення, система може запропонувати коригуючі дії для збереження проекту на правильному шляху.

Крім того, СППР сприяють кращій комунікації та співпраці між зацікавленими сторонами проекту. Централізуючи інформацію та надаючи єдину платформу для обміну даними, ці системи забезпечують доступ усіх учасників до однакової інформації. Така прозорість допомагає узгоджувати цілі, зменшувати непорозуміння та сприяти співпраці.

#### Передові аналітичні можливості

Аналітичні можливості СППР є ще однією значною перевагою. Ці системи можуть виконувати складні аналізи, які були б трудомісткими та схильними до помилок, якщо їх виконувати вручну. Наприклад, СППР можуть аналізувати сценарії витрат і вигод для визначення найекономічніших варіантів матеріалів,



робочої сили та обладнання. Вони також можуть виконувати аналіз чутливості, щоб зрозуміти, як зміни певних змінних впливають на загальні результати проекту.

Крім того, СППР можуть інтегруватися з системами інформаційного моделювання будівель (BIM), щоб забезпечити комплексний огляд життєвого циклу проекту. Ця інтеграція дозволяє моделювати будівельні процеси, виявляти потенційні вузькі місця та оптимізувати графіки проекту.

#### Майбутні тенденції та розвиток

Розвиток СППР у будівництві є постійним процесом, з постійними досягненнями в технологіях, які сприяють подальшим покращенням. Нові тенденції, такі як Інтернет речей (IoT), аналіз великих даних та ШІ, готові революціонізувати можливості СППР. Пристрої IoT можуть надавати дані в реальному часі з будівельних майданчиків, підвищуючи точність та своєчасність інформації, доступної для прийняття рішень. Аналіз великих даних може виявляти шаблони та тенденції, які раніше були невидимими, надаючи глибші уявлення про ефективність проекту.

Більше того, інтеграція ШІ у СППР може призвести до більш інтелектуальних систем, здатних навчатися на попередніх проектах та постійно вдосконалювати свої алгоритми прийняття рішень. Ця еволюція дозволить будівельним компаніям з більшою впевненістю та ефективністю управляти дедалі складнішими проектами.

## 1.2 Методи оцінки ризиків

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. Ось короткий виклад методів і ключових результатів останніх досліджень:

Аналіз дослідження небезпеки та працездатності (HAZOP – Analysis Hazard and Operability Study) — це систематичний і структурований метод, який використовується для виявлення й оцінки потенційних небезпек і операційних проблем у будівельному проекті. Він включає міждисциплінарну групу експертів, які вивчають дизайн проекту та процеси, щоб виявити відхилення від запланованого проекту, оцінити їхні потенційні наслідки та рекомендувати запобіжні заходи. Аналіз HAZOP широко використовується в переробній промисловості та може бути адаптований для будівельних проектів (Ismail та ін., 2020).

Аналіз режиму відмови та наслідків (FMEA):

FMEA — це проактивний підхід до оцінки ризику, який оцінює потенційні режими відмови, їхні наслідки та ймовірність виникнення. Він призначає номер пріоритету ризику (RPN) для кожного виявленого режиму відмови, дозволяючи командам проекту визначати пріоритети та в першу чергу розглядати зони високого ризику. FMEA є універсальним методом, застосовним до різних етапів будівництва (Bansal et al., 2019).

Моделювання Монте-Карло:

Моделювання Монте-Карло – це метод імовірнісного моделювання, який використовується для аналізу впливу невизначеності на результати будівельного проекту. Він передбачає створення моделі, яка імітує різні сценарії шляхом випадкової вибірки з розподілу ймовірностей для різних параметрів проекту, таких як вартість, тривалість і доступність ресурсів. Моделювання за методом Монте-Карло забезпечує комплексне уявлення про ризики проекту та добре підходить для складних проектів (Saaty та ін., 2019).

Матриця ризиків:

Матриця ризиків – це простий, але ефективний якісний метод, який оцінює ризики на основі їх серйозності та ймовірності. Ризики класифікуються за різними рівнями ризику, що дозволяє командам проекту визначити пріоритети та зосередитися на ризиках із високим ступенем впливу та високою ймовірністю. Це

простий для розуміння метод, який часто використовують на початкових етапах оцінки ризику (Cheng et al., 2018).

Аналіз дерева несправностей (FTA – Fault Tree Analysis). FTA — це дедуктивний метод, який починається з ідентифікації конкретної небажаної події (основна подія), а потім систематично аналізує потенційні причини (помилки), які можуть призвести до неї. Це допомагає зрозуміти взаємозв'язки між різними факторами, що сприяють виникненню конкретної події ризику, що робить його корисним для складних будівельних проектів (Ває та ін., 2021).

Аналіз метелика поєднує в собі елементи FMEA та FTA для всебічної оцінки ризиків і засобів контролю. Він візуалізує ризики у вигляді діаграми «метелик» з головною подією в центрі та причинами з одного боку та наслідками з іншого. Це особливо корисно для візуалізації та передачі інформації про ризики в будівництві (Zhang et al., 2020).

Техніка Delphi — це якісний метод, який передбачає отримання інформації від групи експертів для досягнення консенсусу щодо ризиків та їх потенційного впливу. Це структурований підхід, який допомагає подолати невизначеності та отримати інформацію від досвідчених професіоналів у будівельній галузі (Yang et al., 2020).

Багатоатрибутні методи прийняття рішень (Multi-attribute decision-making methods) використовуються для оцінки ризиків з урахуванням інтересів і цілей зацікавлених сторін і факторів, що впливають на ефективність будівництва та вартість нерухомості. Такі методи, як TOPSIS grey і COPRAS-G, застосовуються для ранжування об'єктів і визначення оптимальності [8] (Zavadskas, Turskis, & Tamošaitienė, 2010).

#### Fuzzy Sets Theory and Analytic Hierarchy Process (AHP)

Теорія нечітких множин і аналітичний ієрархічний процес (AHP) надають методологію для оцінки ризиків, особливо ефективну в обробці суб'єктивних суджень і структуруванні великої кількості ризиків на основі експертних знань і досвіду [9] (Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011).

#### Traditional methods and fuzzy sets approaches

Традиційні методи та підходи до нечітких наборів обговорюються для оцінки професійного ризику (ORA) у будівництві, підкреслюючи обмеження традиційних методів і переваги нечітких наборів у роботі з неточно визначеними ситуаціями [10] (Pinto, Nunes, & Ribeiro, 2011).

#### Fuzzy-based decision-making methodology

Методологія прийняття рішень на основі нечіткості інтегрує фактори ризику в процес оцінки будівельних проектів за допомогою методів нечіткого міркування для обробки невизначеностей, демонструючи ефективність оцінки ризиків, таких як будівництво металоконструкцій у торгових центрах [11] (Zeng, An, & Smith, 2007).

Аналітичний ієрархічний процес (АНП - Analytic Hierarchy Process (АНП) for safety risk assessment) для оцінки ризиків безпеки під час планування та бюджетування, що представляє структуру для визначення пріоритетів ризиків безпеки в будівельних проектах для раціоналізації бюджетування та встановлення реалістичних цілей без шкоди для безпеки [12] (Aminbakhsh, Gunduz, & Sonmez, 2013).

Підхід на основі аналізу випадків (CBR - Case-Based Reasoning) для ідентифікації небезпеки безпеки будівництва використовує попередні знання для підвищення ефективності та якості ідентифікації нових небезпек, демонструючи процес адаптації до нового сценарію роботи [13] (Goh & Chua, 2010).

Це лише деякі з багатьох методів оцінки ризиків, доступних у будівельній галузі. Вибір методу або комбінації методів залежить від складності конкретного проекту, цілей і наявних ресурсів. Дослідники та практики часто використовують комбінацію кількісних і якісних методів, щоб забезпечити комплексну оцінку ризику. Ці методології підкреслюють важливість включення як кількісних, так і якісних даних, експертних знань і нечіткої логіки для ефективно оцінки та управління ризиками в будівельних проектах.

### 1.3 Етапи оцінки ризиків

Оцінка ризиків у будівництві є важливим аспектом управління проектом, спрямованим на виявлення, аналіз і управління потенційними ризиками, які можуть вплинути на успіх проекту. Цей процес включає кілька етапів, включаючи ідентифікацію ризику, аналіз ризику (як якісний і кількісний), оцінку ризику та планування пом'якшення ризику або реагування. Тут я наведу огляд ключових концепцій, формул і графічних зображень, які зазвичай використовуються в оцінці будівельних ризиків, а також посилання на відповідну літературу.

#### 1.3.1 Ідентифікація ризиків

Першим кроком є визначення потенційних ризиків, які можуть вплинути на проект. Це може включати фінансові ризики, загрози безпеці, вплив на навколишнє середовище тощо (Рис 1.1). Зазвичай використовуються такі методи, як мозковий штурм, контрольні списки та SWOT-аналіз (сильні сторони, слабкі сторони, можливості, загрози)[14,15,16].

#### 1.3.2 Аналіз ризиків

##### *Якісний аналіз*

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.

##### *Кількісний аналіз*

Кількісний аналіз ризиків передбачає чисельні методи оцінки ймовірності та впливу ризиків. Деякі ключові формули включають:

Очікувана грошова вартість (EMV):  $EMV = \text{ймовірність події} \times \text{вплив}$ .

Чиста приведена вартість (NPV): 
$$NPV = \sum \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (1.1)$$

- Початкові інвестиції, де  $R_t$ — чистий приплив-відтік грошових коштів протягом одного періоду  $t$ ,  $i$  — ставка дисконту, а  $t$  — кількість періодів часу.

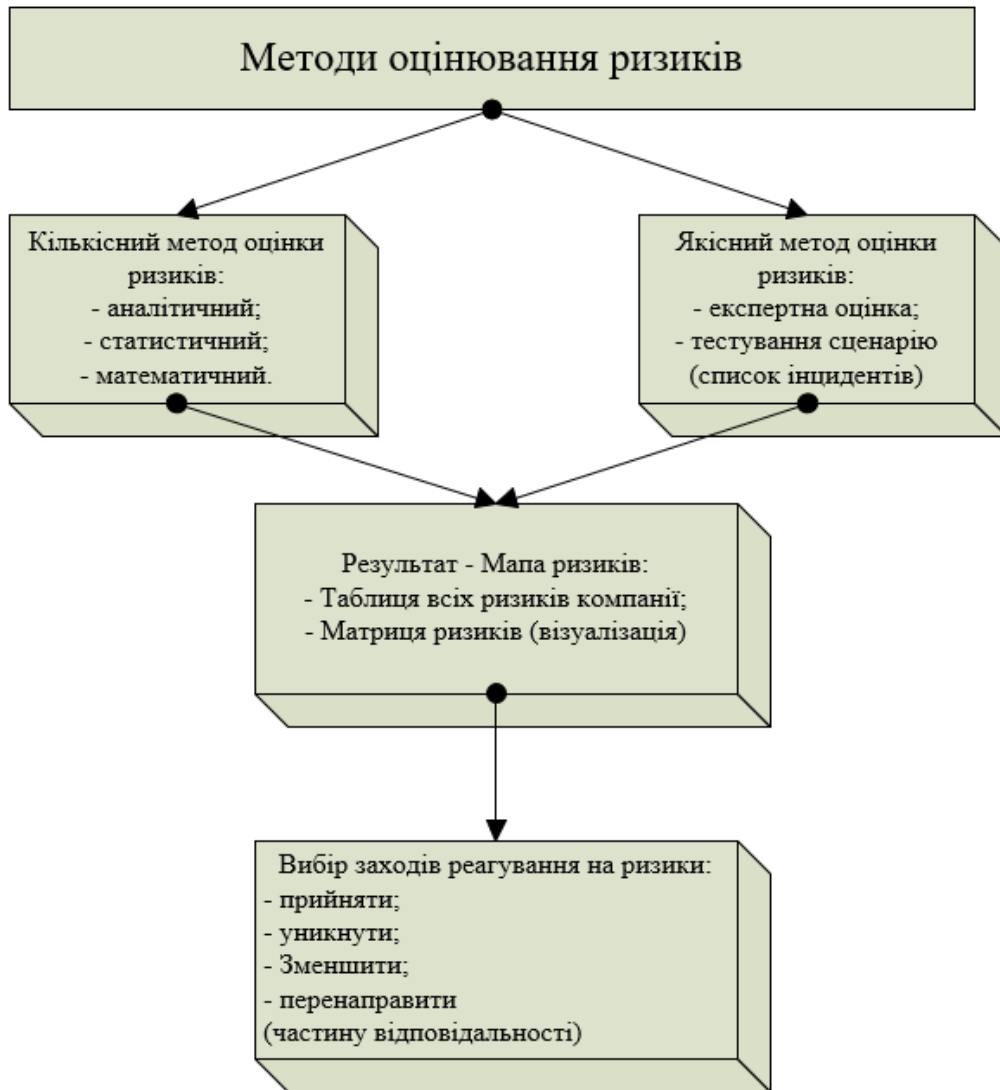


Рисунок 1.1. – Систематизація методів, які використовуються в оцінюванні ризиків

### 1.3.3 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.

### 1.3.4 Зменшення 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.

Графічні представлення матриці ризиків (рис. 1.2): сітка, яка відображає ймовірність ризиків у порівнянні з їхнім впливом, допомагаючи візуалізувати пріоритетні ризики.

			Дуже низький	Низький	Можливий	Висока ймовірність		
			А	Б	В	Г		
			< 5%	> 5-20%	> 20-45%	> 45%		
Значний	> 1000 тис. грн.	1	1	1	1	1	3	83,74%
Великий	> 500-1000 тис. грн.	2	2	1	1	1	3	12,32%
Помірний	> 200- 500 тис. грн.	3	2	2	2	2	2	3,45%
Незначний	< 200 тис. грн.	4	1	1	1	1	1	0,49%
			1	5	2	1		
			49,26,%	11,33%	14,78%	24,63%		
			Ймовірність виникнення					

Рисунок 1.2 – Матриця ризиків компанії

На підставі отриманих даних необхідно побудувати дерева рішень (рис. 1.3): діаграма, яка відображає можливі рішення та їхні потенційні результати, включаючи ризики, щоб допомогти вибрати найкращий курс дій.



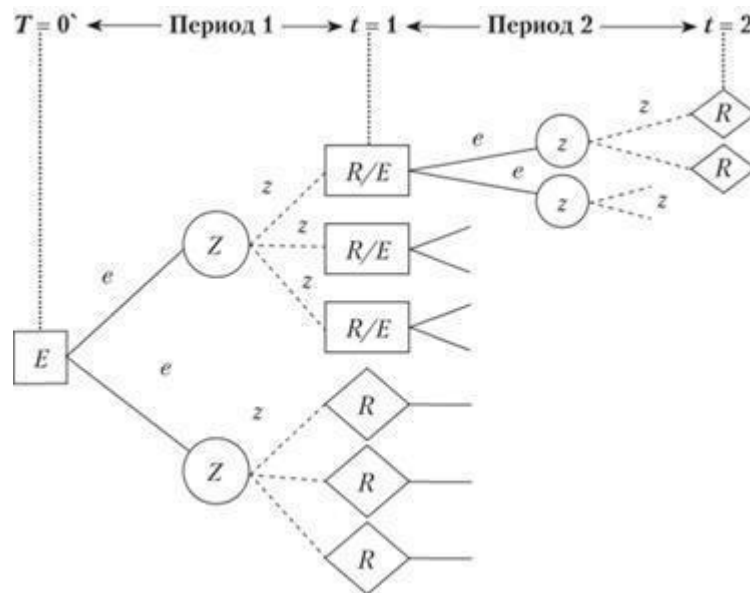


Рисунок 1.3 – Формальна структура "дерева рішень":

Е - вузол рішення, тобто вузол, що характеризує момент прийняття рішення;  
 е - 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.

*Аналіз чутливості:* графіки, які показують, як зміни в одному аспекті проекту впливають на загальний результат проекту. Ризик, пов'язаний з проектом, — це можливе розходження результатів відносно певного значення. Ця міра ризику є дуже привабливою для багатьох тому, що вимір розходження результатів або дисперсії розподілу математичного очікування вказує на вірогідне відхилення фактичного результату від його «найоптимістичнішого» прогнозу. Сутнісного підходу наглядно показано на рисунку 1.4, на якому відбито розподіл ймовірностей результатів різних проектів.

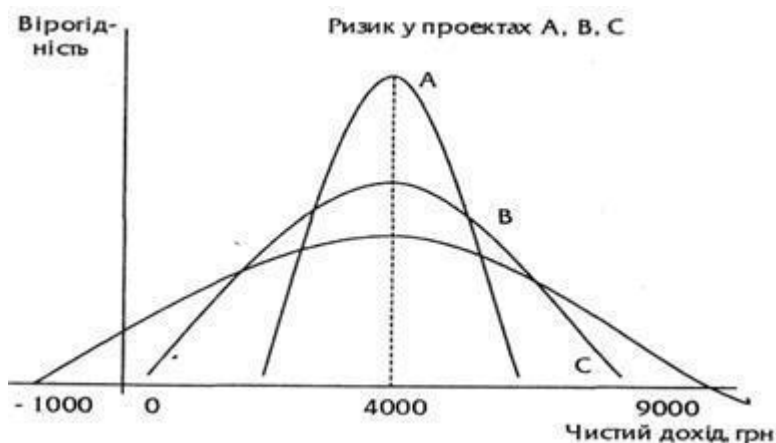


Рисунок 1.4 – Невизначеність, що вимірюється розходженням результатів відносно їх очікуваних значень .

Для детальних прикладів, формул і методологій ці посилання є безцінними. Вони пропонують поєднання теоретичних знань і практичних порад, необхідних для ефективного управління ризиками в будівельних проектах [26,28].

#### 1.4 Застосування технологій штучного інтелекту при розробці експертних систем в будівництві

для обробки великих обсягів інформації та надає можливість приймати обґрунтовані рішення на основі аналізу даних з різних джерел. Це сприяє усуненню зайвих витрат та оптимізації робочих процесів [27,29].

Машинне навчання є ще однією важливою технологією в будівельній галузі. Воно використовується для прогнозування термінів будівництва, виявлення ризиків, а також для автоматизації процесів управління проектом. Наприклад, системи можуть враховувати попередні дані про затримки та приймати рішення щодо управління ресурсами для забезпечення вчасного завершення проекту.

Дрони та роботи використовуються для збору даних та моніторингу на будівельних майданчиках. Дрони можуть надавати візуальні зображення та знімки з високою роздільною здатністю, що дозволяє вчасно виявляти проблеми та використовувати цю інформацію для прийняття рішень.

Приклади ефективності застосування ШІ в будівництві:

1. Зменшення часу та витрат: За допомогою аналітики даних та машинного навчання вдається покращити планування та розподіл ресурсів, що призводить до скорочення часу будівництва та економії коштів.

2. Точність управління ризиками: Машинне навчання може виявляти потенційні ризики та проблеми на етапі планування, дозволяючи підприємствам реагувати та уникати негативних наслідків.

3. Покращення якості проекту: BIM дозволяє створювати детальні віртуальні моделі, що сприяє зменшенню помилок та удосконаленню якості будівельних робіт.

4. Збільшення безпеки на будівництві: дрони використовуються для моніторингу безпеки на будівельних майданчиках, сприяючи вчасному виявленню потенційних небезпек.

5. Додавання цих технологій у будівельний процес може значно підняти ефективність та результативність в галузі будівництва.

Існує безліч компаній у всьому світі, які займаються розробкою технологій штучного інтелекту. Нижче наведено лише кілька з найвідоміших та впливових компаній у цій сфері, проте варто зауважити, що цей список не є вичерпним, і існує багато інших компаній, які також вносять важливий вклад у розвиток ШІ:

OpenAI: OpenAI - це штучно-інтелектуальна лабораторія, яка займається дослідженням і розробкою передових технологій ШІ. Вони стоять за розвитком таких продуктів, як GPT (Generative Pre-trained Transformer).

Google: Google є власником багатьох інноваційних проектів у сфері ШІ, таких як Google Brain, DeepMind та TensorFlow.

Microsoft: Microsoft активно досліджує та розвиває технології ШІ через свої проекти, такі як Azure AI, Microsoft Research і Cognitive Services.

IBM: IBM є лідером у галузі когнітивних технологій та штучного інтелекту, зокрема через свій продукт Watson та активну участь у дослідженнях.

Facebook: Facebook вивчає та впроваджує технології ШІ для покращення алгоритмів рекомендацій та роботи з великими об'ємами даних.

Amazon: Amazon використовує штучний інтелект в різних напрямках бізнесу, включаючи розробку голосового помічника Alexa та робототехніки.

Tesla: Tesla використовує технології ШІ для розвитку автономних автомобілів та покращення системи водіння.

NVIDIA: NVIDIA спеціалізується на розробці графічних процесорів, які широко використовуються в глибокому навчанні та обчисленнях ШІ.

Alphabet Inc. (за власністю Google): Крім Google, Alphabet є материнською компанією, яка володіє такими підрозділами, як Waymo (автономні автомобілі) та DeepMind (глибоке навчання).

Це лише кілька прикладів існуючих компаній. Сфера штучного інтелекту динамічно розвивається, і нові компанії постійно вступають на цей ринок зі своїми інноваційними рішеннями.

Будівельна індустрія також поступово впроваджує технології штучного інтелекту для покращення ефективності та результативності. Ось кілька прикладів будівельних компаній та їхніх застосувань технологій ШІ:

Mortenson Construction: Ця американська будівельна компанія використовує технології штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних з будівельних проєктів. Їх системи враховують інформацію щодо погоди, термінів виконання та інших факторів для покращення стратегій будівництва.

Autodesk: Компанія Autodesk надає рішення в галузі Building Information Modeling (BIM), яке дозволяє будівельним компаніям створювати віртуальні моделі будівель та ефективно управляти інформацією про проєкт.

Застосування: Autodesk використовує технології штучного інтелекту для розвитку продуктів BIM (Building Information Modeling), таких як Autodesk Revit та InfraWorks. BIM дозволяє візуалізацію, моделювання та координацію проєктів.

Навчальні матеріали: "Applying Artificial Intelligence to BIM Workflows" (<https://www.autodesk.com/research/publications/applying-ai-bim>)

KATERRA: KATERRA використовує різноманітні технології, включаючи штучний інтелект, для оптимізації будівельних процесів. Вони використовують

аналіз даних для вирішення завдань, таких як управління запасами та планування проектів.

**Brick & Mortar Ventures:** Це венчурне підприємство, яке інвестує в компанії, які застосовують технології ШІ в будівництві. Вони сприяють розвитку стартапів, що працюють над інноваціями в галузі будівництва, включаючи використання штучного інтелекту.

**Bentley Systems:**

**Застосування:** Bentley розробляє BIM-програмне забезпечення, таке як MicroStation та OpenBuildings Designer, яке використовує технології ШІ для автоматизації та оптимізації проектних рішень.

**Навчальні матеріали:** "Artificial Intelligence for Building Design and Construction" (<https://www.bentley.com/en/learn/learning-paths/artificial-intelligence-for-building-design-and-construction>)

**Trimble:**

**Застосування:** Trimble застосовує ШІ для розвитку інноваційних рішень у сфері геопросторових технологій, таких як Trimble Connect та SketchUp.

**Навчальні матеріали:** "Machine Learning in SketchUp with SketchUp Labs" (<https://www.sketchup.com/learn/videos/1492>)

**Skanska:**

**Застосування:** Skanska використовує технології ШІ для вдосконалення управління проектами, розробки віртуальних моделей та аналізу даних для прийняття рішень. Skanska, одна з найбільших будівельних компаній у світі, використовує технології штучного інтелекту для покращення управління проектами та безпеки на будівельних майданчиках. Вони використовують аналітику даних для прогнозування ризиків та управління ресурсами.

**Навчальні матеріали:** "Artificial Intelligence in Construction" (<https://group.skanska.com/who-we-are/innovation/artificial-intelligence>)

**Texas instruments. Edge AI Studios.**

Одна платформа для одно- та багатокамерних систем (рис. 1.5). Процесори зору дозволяють виконувати розпізнавання обличчя, виявлення об'єктів, оцінку

пози та інші функції штучного інтелекту (AI) у режимі реального часу за допомогою програмного забезпечення на базі моделей глибокого навчання з відкритим кодом із фреймворків TensorFlow, PyTorch і MXNet. Моделі попередньо навчені на загальнодоступному наборі даних і оптимізовані для ефективної роботи. Завдяки масштабованій продуктивності до 12 камер можливо створювати розумні камери безпеки, автономних мобільних роботів і все, що з ними пов'язано.

Навчальні матеріали Edge AI Studios (<https://www.ti.com/technologies/edge-ai.html>).

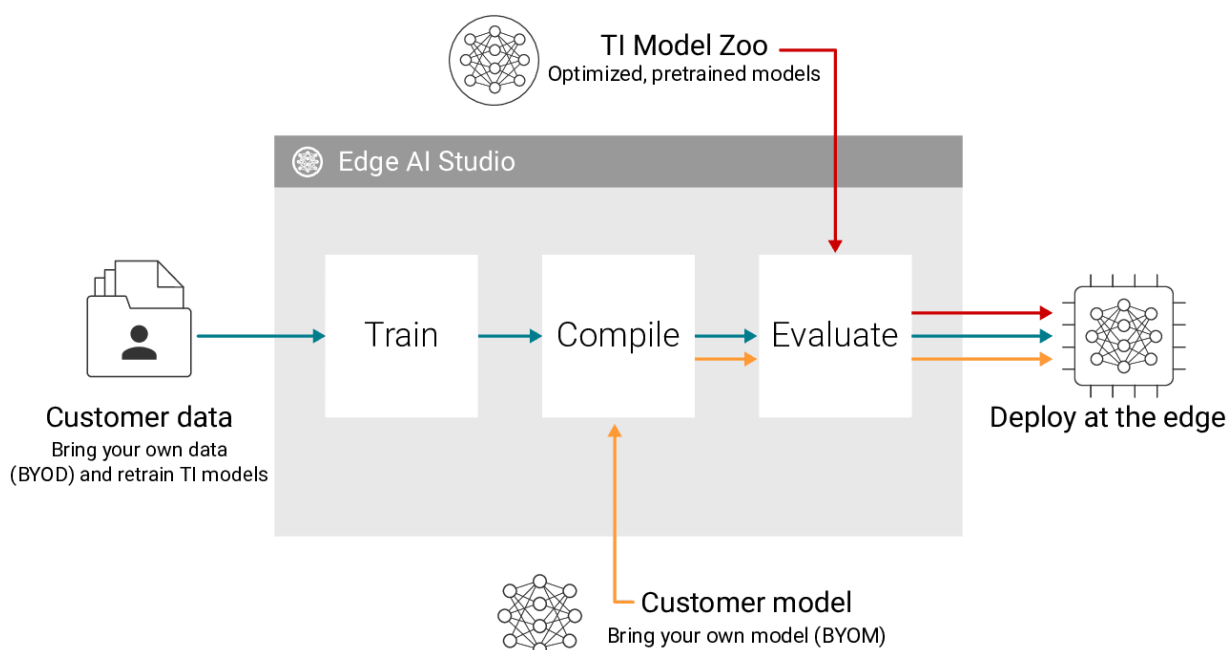


Рисунок 1.5 – Модель імплементації даних замовника в систему штучного інтелекту від Texas instruments

Ці компанії допомагають вдосконалювати будівельну індустрію за допомогою інноваційних рішень на основі технологій штучного інтелекту. Щоб долучити більше наукових праць, рекомендую переглядати актуальні публікації на сайтах відповідних компаній та в базах даних, таких як IEEE Xplore чи ResearchGate.

Це лише кілька прикладів, і багато інших будівельних компаній також впроваджують технології ШІ для покращення своїх процесів та результативності.



## 1.5 Перспективи імплементації ШІ в Україні. Переваги та недоліки ШІ в будівництві

Одним з завдань для реалізації комплексного підходу в будівництві та реконструкції об'єктів інфраструктури України є імплементація штучного інтелекту на кожному етапі життєвого циклу проектів [10,11,12,13,14]. Умовно можна розділити на 5 етапів:

### 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.

### Етап 2: Оцінка ризиків та перспективи

–Прогнозування ризиків. ШІ використовує алгоритми прогнозування для ідентифікації можливих ризиків та визначення стратегій їх управління.

### 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.

### 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.

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.

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.

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.

#### 1.6 Законодавча база щодо імплементації штучного інтелекту

Закон про штучний інтелект: різні правила для різних рівнів ризику ([https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS\\_BRI\(2021\)698792\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS_BRI(2021)698792_EN.pdf)). У рамках своєї цифрової стратегії ЄС хоче регулювати штучний інтелект (AI), щоб забезпечити кращі умови для розробки та використання цієї інноваційної технології. ШІ може створити багато переваг, наприклад покращити охорону здоров'я; безпечніший і чистіший транспорт; більш ефективне виробництво; і дешевша та більш стійка енергія.

У квітні 2021 року Європейська комісія запропонувала першу нормативно-правову базу ЄС щодо ШІ. У ньому сказано, що системи ШІ, які можна використовувати в різних програмах, аналізуються та класифікуються відповідно до ризику, який вони становлять для користувачів. Різні рівні ризику означатимуть більше чи менше регулювання. Після затвердження закону про штучний інтелект 08.12.2023 року він став першим у світі нормативним документом, правилами щодо штучного інтелекту. В Україні на даний час схвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р «Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні» [23].

Нові правила встановлюють зобов'язання для провайдерів і користувачів залежно від рівня ризику від штучного інтелекту. Хоча багато систем ШІ становлять мінімальний ризик, їх потрібно оцінити.

## Pyramid of risks



Рисунок 1.6. – Неприйнятний ризик (Unacceptable risk)

Системи штучного інтелекту з неприйнятним ризиком – це системи, які вважаються загрозою для людей і будуть заборонені. Вони включають:

- Когнітивне поведінкове маніпулювання людьми або окремими вразливими групами: наприклад, голосові іграшки, які заохочують небезпечну поведінку дітей
- Соціальна оцінка: класифікація людей на основі поведінки, соціально-економічного статусу чи особистих характеристик
- Системи біометричної ідентифікації в реальному часі та віддалені, наприклад розпізнавання обличчя

Можуть бути дозволені деякі винятки: наприклад, «поштові» дистанційні системи біометричної ідентифікації, де ідентифікація відбувається після значної затримки, будуть дозволені для переслідування серйозних злочинів, але лише після схвалення суду.

### Високий ризик (High risk)

Системи штучного інтелекту, які негативно впливають на безпеку або фундаментальні права, вважатимуться високим ризиком і розділятимуться на дві категорії:

1) Системи штучного інтелекту, які використовуються в продуктах, які підпадають під дію законодавства ЄС щодо безпеки продуктів . Це включає в себе іграшки, авіацію, автомобілі, медичне обладнання та ліфти.

2) Системи штучного інтелекту, що належать до восьми конкретних областей, які потрібно буде зареєструвати в базі даних ЄС:

- Біометрична ідентифікація та категоризація фізичних осіб
- Управління та експлуатація критичної інфраструктури
- Освіта та професійна підготовка
- Працевлаштування, управління працівниками та доступ до самозайнятості
- Доступ і користування основними приватними та державними послугами та

перевагами

- Правозастосування
- Управління міграцією, притулком та прикордонним контролем
- Допомога в правовому тлумаченні та застосуванні законодавства.

Усі системи штучного інтелекту з високим рівнем ризику будуть оцінені перед виведенням на ринок, а також протягом усього життєвого циклу.

Генеративний ШІ

- Генеративний ШІ, як ChatGPT, повинен відповідати вимогам прозорості:
- Розкриваючи, що контент створено ШІ
- Розробка моделі для запобігання створенню незаконного вмісту
- Публікація зведень захищених авторським правом даних, які

використовуються для навчання

Обмежений ризик (Limited risk)

Системи штучного інтелекту з обмеженим ризиком повинні відповідати мінімальним вимогам щодо прозорості, що дозволить користувачам приймати обґрунтовані рішення. Після взаємодії з додатками користувач може вирішити, чи хоче він продовжувати ним користуватися. Користувачі повинні бути обізнані, коли вони взаємодіють з ШІ. Це включає системи штучного інтелекту, які створюють або обробляють зображення, аудіо- чи відеовміст, наприклад глибокі фейки.

### Мінімальний ризик (Low and minimal risk)

Усі інші системи штучного інтелекту, які представляють лише низький або мінімальний ризик, можуть бути розроблені та використані в ЄС без дотримання будь-яких додаткових правових зобов'язань. Однак запропонований закон про штучний інтелект передбачає створення кодексів поведінки для заохочення постачальників систем штучного інтелекту без високого ризику добровільно застосовувати обов'язкові вимоги до систем штучного інтелекту високого ризику.

### Висновок до розділу 1

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 проєктів, 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.

## **РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВНИЦТВІ**

### **2.1 Розвиток систем підтримки прийняття рішень у будівництві**

Будівельна галузь є складним сектором, що включає численних зацікавлених сторін, обширне планування та значні фінансові інвестиції. Щоб впоратися з цими складнощами, розвиток систем підтримки прийняття рішень (СППР) став необхідним. Ці системи підвищують ефективність процесів прийняття рішень за допомогою передових технологій та методологій.

#### **Розуміння систем підтримки прийняття рішень (СППР)**

Системи підтримки прийняття рішень є класом комп'ютерних інформаційних систем, які підтримують діяльність з прийняття бізнесових або організаційних рішень. У будівництві СППР надають важливі інструменти для менеджерів проектів, інженерів та інших зацікавлених сторін для прийняття обґрунтованих рішень. Ці системи включають різноманітні технології, такі як аналіз даних, штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання, для обробки великих обсягів даних та створення корисних висновків.

#### **Фактори ризику в будівельних проектах**

Однією з критичних областей, де СППР є незамінними, є аналіз факторів ризику. Будівельні проекти за своєю суттю є ризикованими через їхню складність, тривалість та участь багатьох сторін. Фактори ризику в будівництві можуть включати фінансові ризики, загрози безпеці, питання відповідності нормативним вимогам та вплив на довкілля. СППР можуть допомогти визначити, оцінити та зменшити ці ризики за допомогою прогнозного моделювання та сценарного аналізу.

Аналізуючи історичні дані та поточні параметри проекту, СППР можуть передбачати потенційні проблеми та надавати ранні попередження. Такий проактивний підхід дозволяє менеджерам проектів впроваджувати превентивні



заходи, зменшуючи ймовірність затримок проекту, перевищення витрат та інших негативних наслідків.

#### Підвищення ефективності проекту

Ефективність будівельних проектів значною мірою залежить від здатності приймати своєчасні та обґрунтовані рішення. СППР підвищують ефективність, надаючи дані та висновки в реальному часі, що дозволяє командам проекту швидко реагувати на змінні умови. Наприклад, під час будівельної фази СППР можуть моніторити прогрес, використання ресурсів та відповідність графіку проекту. Якщо відбуваються відхилення, система може запропонувати коригуючі дії для збереження проекту на правильному шляху.

Крім того, СППР сприяють кращій комунікації та співпраці між зацікавленими сторонами проекту. Централізуючи інформацію та надаючи єдину платформу для обміну даними, ці системи забезпечують доступ усіх учасників до однакової інформації. Така прозорість допомагає узгоджувати цілі, зменшувати непорозуміння та сприяти співпраці.

#### Передові аналітичні можливості

Аналітичні можливості СППР є ще однією значною перевагою. Ці системи можуть виконувати складні аналізи, які були б трудомісткими та схильними до помилок, якщо їх виконувати вручну. Наприклад, СППР можуть аналізувати сценарії витрат і вигод для визначення найекономічніших варіантів матеріалів, робочої сили та обладнання. Вони також можуть виконувати аналіз чутливості, щоб зрозуміти, як зміни певних змінних впливають на загальні результати проекту.

Крім того, СППР можуть інтегруватися з системами інформаційного моделювання будівель (BIM), щоб забезпечити комплексний огляд життєвого циклу проекту. Ця інтеграція дозволяє моделювати будівельні процеси, виявляти потенційні вузькі місця та оптимізувати графіки проекту.

#### Майбутні тенденції та розвиток

Розвиток СППР у будівництві є постійним процесом, з постійними досягненнями в технологіях, які сприяють подальшим покращенням. Нові тенденції, такі як Інтернет речей (IoT), аналіз великих даних та ШІ, готові революціонізувати можливості СППР. Пристрої IoT можуть надавати дані в реальному часі з будівельних майданчиків, підвищуючи точність та своєчасність інформації, доступної для прийняття рішень. Аналіз великих даних може виявляти шаблони та тенденції, які раніше були невидимими, надаючи глибші уявлення про ефективність проекту.

Більше того, інтеграція ШІ у СППР може призвести до більш інтелектуальних систем, здатних навчатися на попередніх проектах та постійно вдосконалювати свої алгоритми прийняття рішень. Ця еволюція дозволить будівельним компаніям з більшою впевненістю та ефективністю управляти дедалі складнішими проектами.

## 2.2 Визначення коштів на покриття ризику усіх учасників будівництва в кошторисній документації

На стадії розробки інвесторської кошторисної документації в зведеному кошторисному розрахунку підраховуються кошти на покриття ризику усіх учасників будівництва.

Для їх розрахунку дотримуються Настанови з визначення вартості будівництва п. 4.40 [1].

Ризики рахуються для відшкодування витрат, які виникають:

- При збільшенні вартості обсягів робіт та витрат (коли невідомо на стадії проектування методи виконання робіт, їх об'єми і вони будуть уточнюватися під час будівництва).

- При збільшенні вартості обсягів робіт та витрат в результаті змін будівельних норм та нормативних документів. (наприклад можуть змінитися стандарти на матеріали).

Рахуються кошти на покриття ризику за формулою [2]:

$$P = \sum_{\text{глав ЗКР1-12}} \times \text{Приз}, \quad (2.1)$$

де  $\sum_{\text{глав ЗКР1-12}}$  – підсумок глав 1-12 ЗКР графа 7, тис. грн,

Приз – усереднений показник для визначення коштів на покриття ризику, приведений у додатку 28 до Настанови. Цей показник залежить від стадії проектування і типу об'єкту.

Значення ризику може прийматися від 2,5 до 9 % (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1 – Усереднені показники розміру коштів на покриття ризиків всіх учасників будівництва для врахування в інвесторській кошторисній документації.

Найменування	Величина ризику, %
На стадії ЕП, ТЕО, ТЕР	
Об'єкт промисловості	8,5
Об'єкти сільського господарства, транспорту, зв'язку	4,5
Житлові будинки	2,5
Об'єкти реставрації	9
На стадії проекту	
Об'єкт промисловості	3
Об'єкти сільського господарства, транспорту, зв'язку	1,8
Житлові будинки	3
Об'єкти реставрації	7,5

При розробці договірної ціни кошти на покриття ризику враховуються:

- при твердій договірній ціні приймаються не більше 1,5% [24,25];
- при динамічній договірній ціні не враховуються.

## Висновок до розділу 2

Розвиток систем підтримки прийняття рішень у будівництві представляє собою значний крок вперед у практиках управління проектами. Вирішуючи фактори ризику, підвищуючи ефективність проектів та пропонуючи передові аналітичні можливості, СППР надають потужний інструментарій для покращення загального успіху будівельних проектів. У міру того, як технології продовжують розвиватися, ці системи стануть ще більш інтегрованими в будівельну галузь, стимулюючи інновації та ефективність у кожному аспекті виконання проектів.

Так як в ПКД не враховані всі фактори ризиків, обсяги робіт можуть бути значно збільшені в залежності від організації технологічного процесу, прийнятих рішень, обставин непереборної сили. Однак, при застосуванні систем підтримки прийняття рішень фактори ризиків можуть бути значній в значній мірі.

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРТНО-МОДЕЛЮЮЧА СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПО ЗМЕНШЕННЮ РИЗИКІВ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 3.1 Формалізація факторів, що впливають на вибір моделі управління проектами по зменшенню ризиків

Будівництво є однією з найбільш ризикованих галузей через велику кількість змінних, які можуть вплинути на успішність проекту. Ризики в будівництві можна класифікувати на три основні категорії: проектні, виробничі та експлуатаційні.

#### Проектні ризики

Проектні ризики виникають на етапах планування та проектування. Вони можуть включати:

- Невірно оцінені вимоги до проекту, що може призвести до необхідності внесення змін вже під час будівництва.
- Недоліки в проектуванні, такі як помилки в розрахунках або неефективне використання простору.
- Зміни в законодавстві або стандартах, що вимагають доробок у проекті.
- Проблеми з отриманням дозволів на будівництво або з іншими юридичними аспектами.

#### Виробничі ризики

Виробничі ризики пов'язані з самим процесом будівництва. До них належать:

- Затримки через погодні умови, такі як сильні дощі, снігопади, високі або низькі температури.
- Проблеми з матеріалами, наприклад, затримки з постачанням або невідповідність матеріалів заявленим характеристикам.
- Труднощі з технікою та обладнанням, включаючи збої у роботі або недостатність потужності для виконання робіт.
- Помилки в роботі через недосвідченість або неправильне розуміння задач серед персоналу.

### Експлуатаційні ризики

Експлуатаційні ризики з'являються після завершення будівництва та під час використання об'єкта. Вони включають:

- Проблеми з експлуатацією, такі як недоліки в проекті, які не були видимими під час будівництва, але стають очевидними під час використання.
- Витрати на обслуговування, що виявляються вищими, ніж очікувалося, через помилки в проектуванні або використанні матеріалів низької якості.
- Зміни у використанні об'єкта, що можуть вимагати додаткових інвестицій в переобладнання або модифікацію.

Управління цими ризиками вимагає ретельного планування, постійного моніторингу та готовності до швидкого вирішення проблем. Ключовими елементами ефективного управління ризиками є гнучкість проектного процесу, якісний контроль на всіх етапах будівництва та ретельне планування експлуатації.

Для представлення ризиків у будівництві за допомогою формул, ми можемо використати підхід, заснований на кількісному оцінюванні. Цей підхід дозволяє визначити ймовірність виникнення ризику та його потенційний вплив. Зверніть увагу, що кількісна оцінка ризику зазвичай залежить від конкретного контексту проекту та доступних даних. Нижче представлені загальні формули для кожної групи ризиків.

#### Проектні ризики

Проектні ризики можна оцінити за формулою:

$$R_{\text{проект}} = R_{\text{проект}} \times I_{\text{проект}} \quad (3.1)$$

де  $R_{\text{проект}}$  - ризик, пов'язаний з проектуванням,

$R_{\text{проект}}$  - ймовірність виникнення ризику проектування,

$I_{\text{проект}}$  - вплив ризику проектування на загальний успіх проекту.

#### Виробничі ризики

Виробничі ризики можна оцінити за формулою:

$$R_{\text{вироб}} = R_{\text{вироб}} \times I_{\text{вироб}} \quad (3.2)$$

де  $R_{\text{вироб}}$  - виробничий ризик,

$R_{\text{вироб}}$  - ймовірність виникнення виробничого ризику,

Івироб - вплив виробничого ризику на процес будівництва.

Експлуатаційні ризики

Експлуатаційні ризики можна оцінити за формулою:

$$\text{Рекспл} = \text{Рекспл} \times \text{Іекспл} \quad (3.3)$$

де Рекспл - експлуатаційний ризик,

Рекспл - ймовірність виникнення експлуатаційного ризику,

Іекспл - вплив експлуатаційного ризику на ефективність використання об'єкта.

Важливо розуміти, що ці формули є досить узагальненими та слугують для представлення загального підходу до оцінки ризиків. Для точного розрахунку кожного ризику потрібно збирати специфічні дані та аналізувати їх у контексті конкретного будівельного проекту.

Етап 1 . Збір та аналіз вихідних даних. Укладання договору на виконання будівельно-монтажних робіт

Укладання контракту на великий будівельний проект включає складні міркування, включаючи обсяг робіт, терміни, бюджет, стандарти якості та відповідність законодавству. Інструменти штучного інтелекту (AI) можуть значно оптимізувати цей процес, підвищуючи ефективність, точність і управління ризиками. Нижче наведено покрокову інструкцію щодо використання штучного інтелекту при складанні будівельних контрактів:

#### 1. Збір та аналіз вимог

Застосування інструментів штучного інтелекту: використовуйте програмне забезпечення для керування проектами на основі штучного інтелекту, щоб збирати та аналізувати вимоги до проекту. ШІ може допомогти визначити загальні елементи у великих проектах, аналізуючи історичні дані та пропонуючи стандартні вимоги та положення на основі схожих проектів.

Результат: вичерпний перелік вимог до проекту, включаючи обсяг, результати, терміни та стандарти якості.

#### 2. Складання первинного договору

Застосування інструментів штучного інтелекту: використовуйте інструменти для редагування законів на основі штучного інтелекту. Ці інструменти можуть генерувати проекти контрактів на основі вхідних параметрів, таких як обсяг проекту, бюджет і терміни. Вони використовують величезні бази даних правових прецедентів і стандартних положень, адаптованих до будівельної галузі.

Результат: початковий проект контракту, який охоплює такі основні елементи, як обсяг роботи, умови оплати, терміни та відповідальність.

### 3. Оцінка та зменшення ризиків

Застосування інструменту штучного інтелекту: запровадьте штучний інтелект для аналізу ризиків, ввівши деталі проекту в інструмент оцінки ризиків. AI оцінює потенційні ризики, такі як затримки, перевитрати коштів і проблеми з дотриманням нормативних вимог, на основі прогнозової аналітики та історичних даних проекту.

Результат: список виявлених ризиків із запропонованими стратегіями пом'якшення, які можуть бути включені в контракт як окремі пункти.

### 4. Налаштування та оптимізація пункту

Застосування інструменту штучного інтелекту: використовуйте штучний інтелект для налаштування та оптимізації положень контракту. Інструменти штучного інтелекту можуть запропонувати зміни до стандартних положень на основі специфічних ризиків проекту, інформації зацікавлених сторін і вимог законодавства. Цей крок гарантує належний захист інтересів усіх сторін.

Результат: контракт із індивідуальними пунктами, що стосуються конкретних потреб проекту, ризиків і правових вимог.

### 5. Огляд і перевірка відповідності

Застосування інструменту штучного інтелекту: розгортання штучного інтелекту для перегляду контрактів і перевірки відповідності. AI може порівняти проект контракту з нормативними вимогами та галузевими стандартами, забезпечуючи відповідність. Він також може виявити будь-які невідповідності або відсутні елементи.



Результат: юридично відповідний договір, готовий для перевірки фахівцями з права.

#### 6. Співпраця та перегляд із зацікавленими сторонами

Застосування інструментів штучного інтелекту: використовуйте платформи для співпраці з можливостями штучного інтелекту, щоб полегшити перегляд контрактів і переговори. Ці платформи можуть відстежувати зміни, пропонувати компроміси та прогнозувати вплив переглядів на результати проекту.

Результат: остаточний контракт, який було розглянуто та погоджено всіма зацікавленими сторонами.

#### 7. Остаточний огляд і підпис

Застосування інструменту штучного інтелекту: перед підписанням скористайтеся інструментами, керованими штучним інтелектом, для остаточної перевірки, щоб переконатися, що всі зміни точно відображено та документ вільний від помилок. Інструменти цифрового підпису можуть полегшити процес підписання.

Результат: юридично обов'язковий контракт, підписаний усіма сторонами, із чітким записом угоди та очікувань.

#### Поради щодо впровадження

Якість даних: ефективність інструментів ШІ залежить від якості даних, на яких вони навчаються. Переконайтеся, що ваші дані точні, вичерпні та актуальні.

Людський нагляд: хоча ШІ може значно покращити процес створення контракту, людський досвід має вирішальне значення для тлумачення, переговорів і прийняття остаточних рішень. Завжди звертайтеся до юридичних спеціалістів для перегляду контрактів, створених ШІ.

Безперервне навчання: моделі штучного інтелекту покращуються завдяки більшій кількості даних. Поверніть уроки, отримані з завершених проектів, у систему, щоб удосконалити майбутні контракти.

Використання штучного інтелекту в процесі створення контрактів для великих будівельних проектів може призвести до більш точного, ефективного та

дієвого управління контрактами, що зрештою сприятиме більш плавному виконанню проекту та кращим результатам.

## Етап 2. Застосування штучного інтелекту під час будівництва

Включення штучного інтелекту (AI) в управління ризиками в будівельних проектах є значним прогресом у способі визначення, аналізу та пом'якшення проектних ризиків. Ця технологія може вдосконалити традиційні практики управління ризиками, надаючи точніші прогнози, автоматизуючи процеси та дозволяючи приймати більш обґрунтовані рішення. Нижче наведено ключові способи ШІ трансформувати управління ризиками в будівництві:

**Прогностична аналітика:** алгоритми штучного інтелекту можуть обробляти величезні обсяги даних із різних джерел, включаючи минулі проекти, прогнози погоди та ринкові тенденції, щоб передбачити потенційні ризики до того, як вони матеріалізуються. Ця можливість прогнозування дозволяє керівникам проектів активно впроваджувати стратегії пом'якшення, зменшуючи ймовірність і вплив ризиків на графіки та бюджети проекту.

**Моніторинг ризиків у режимі реального часу:** системи штучного інтелекту можуть постійно контролювати дані проекту, визначаючи ризики, коли вони виникають, у режимі реального часу. Це включає відстеження прогресу за віхами, відхиленнями бюджету та змінами доступності ресурсів. Штучний інтелект миттєво позначає проблеми, дає змогу швидше відповідати, потенційно заощаджуючи витрати та уникаючи затримок.

**Ідентифікація та класифікація ризиків:** ШІ може ідентифікувати та класифікувати ризики на основі історичних даних і алгоритмів навчання. Він може розпізнавати закономірності та кореляції, які можуть бути неочевидними для аналітиків, виявляючи приховані ризики та забезпечуючи комплексний профіль ризиків для проекту.

**Кількісний аналіз ризиків:** штучний інтелект покращує кількісний аналіз ризиків за допомогою моделей машинного навчання для більш точної оцінки ймовірності та впливу ризиків. Це включає складне моделювання та моделі

прогнозування, які можуть враховувати широкий спектр змінних та їх взаємозалежності.

Системи підтримки прийняття рішень: штучний інтелект може підтримувати процес прийняття рішень, надаючи керівникам проектів інформацію та рекомендації на основі даних. Наприклад, він може запропонувати найефективніші стратегії зменшення ризику на основі конкретного контексту проекту та історичних результатів подібних дій у минулих проектах.

Покращена комунікація та співпраця: платформи, керовані штучним інтелектом, можуть сприяти кращій комунікації та співпраці між зацікавленими сторонами проекту, забезпечуючи централізовану систему звітування про ризики та управління ними. Це гарантує, що всі сторони обізнані про поточні ризики та наявні стратегії для їх усунення.

Аналіз контрактів і моніторинг відповідності: AI може аналізувати контракти та інші проектні документи, щоб виявити потенційні юридичні ризики та ризики відповідності. Він також може контролювати проектну діяльність на відповідність нормативним вимогам, стандартам і найкращим практикам.

Впровадження штучного інтелекту в управління ризиками вимагає стратегічного підходу, включаючи вибір правильних інструментів, навчання персоналу роботі з системами штучного інтелекту та інтеграцію процесів штучного інтелекту в існуючі системи управління ризиками. Початкові інвестиції в технологію штучного інтелекту можуть бути компенсовані потенційною економією завдяки більш ефективному управлінню ризиками, включаючи зменшення затримок проектів, перевитрати коштів і пом'якшення потенційних юридичних проблем.

Для керівників будівельних проектів вкрай важливо бути в курсі останніх розробок штучного інтелекту та розглядати їх застосування в управлінні ризиками для покращення результатів проекту та підтримки конкурентної переваги в галузі. Також важливо підходити до впровадження штучного інтелекту з чітким розумінням його можливостей і обмежень, гарантуючи, що людський досвід і

судження продовжуватимуть відігравати центральну роль у процесах прийняття рішень.

### Етап 3. Застосування штучного інтелекту під час експлуатації об'єкта

Застосування штучного інтелекту (AI) під час роботи гідроакumuлюючої електростанції, особливо такої складності та масштабу, як ви описали, може значно підвищити ефективність, безпеку та стійкість. Завдяки штучному інтелекту електростанція може оптимізувати роботу в режимі реального часу, прогнозувати потреби в обслуговуванні та ефективніше керувати виробництвом і споживанням енергії. Давайте розглянемо конкретні програми штучного інтелекту, призначені для роботи такого об'єкта:

#### 1. Прогнозне технічне обслуговування

Штучний інтелект може аналізувати дані датчиків, встановлених на гідроагрегатах, щоб передбачити несправності обладнання до їх виникнення. Відстежуючи вібрації, температуру та інші показники, алгоритми штучного інтелекту можуть ідентифікувати закономірності, які передують несправності обладнання. Це дає змогу планувати технічне обслуговування в період непікової навантаження, мінімізуючи час простою та подовжуючи термін служби гідроагрегатів.

Приклад: модель штучного інтелекту передбачає, що підшипник в одному з гідроагрегатів може вийде з ладу протягом наступного місяця. Завод планує заміну в період низького попиту, щоб уникнути несподіваних простоїв.

#### 2. Оптимізація виробництва енергії

ШІ може динамічно регулювати роботу гідроагрегатів відповідно до попиту на енергію, враховуючи потужність кожного агрегату як у режимі генератора, так і в режимі насоса. Це передбачає аналіз ринкового попиту, прогнозів погоди та цін на електроенергію, щоб вирішити, коли зберігати воду, а коли виробляти електроенергію.

Приклад: система ШІ розраховує, що пік попиту припаде на вечір. Він перемикає більше одиниць у режим «насос» протягом дня, коли ціни на

електроенергію нижчі та сонячної енергії є в надлишку, а потім у режим «генератора» увечері, щоб задовольнити попит і отримати вигоду від вищих цін.

### 3. Моніторинг та підвищення ефективності

Постійно контролюючи продуктивність кожного гідроагрегату, ШІ може виявити неефективність і запропонувати коригування роботи. Це може включати зміну швидкості потоку води або швидкості турбіни, щоб максимізувати вихід енергії на одиницю води.

Приклад: AI визначає, що гідроагрегат 2 виробляє менше енергії на кубічний метр води, ніж інші. Він передбачає регулювання кута нахилу лопатей турбіни, покращуючи ККД на 5%.

### 4. Безпека та управління ризиками

ШІ може підвищити безпеку гідроакumuлюючої електростанції шляхом моніторингу здоров'я конструкції, виявлення аномалій і прогнозування потенційних збоїв у дамбі чи іншій критичній інфраструктурі. Ця здатність має вирішальне значення для запобігання аварій і забезпечення безпеки як об'єкта, так і прилеглих територій.

Приклад: система AI виявляє незвичайні рівні просочування в дамбі. Він попереджає операторів про необхідність дослідити й усунути потенційний ризик, перш ніж він стане серйозною проблемою.

### 5. Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії

ШІ може керувати інтеграцією гідроакumuлюючої електростанції з іншими відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячна або вітрова. Це передбачає прийняття рішення про те, коли використовувати надлишок відновлюваної енергії для перекачування води (зберігання енергії), а коли виробляти електроенергію від основного обладнання гідроелектростанції.

Приклад: штучний інтелект прогнозує високу потужність вітрових електростанцій поблизу протягом ночі. Він збільшує активність перекачування, щоб зберігати надлишок енергії, а потім використовує її для виробництва електроенергії під час пікового попиту наступного дня.

## 6. Моніторинг впливу на навколишнє середовище

ШІ також може зіграти вирішальну роль у моніторингу впливу гідроакумулюючої електростанції на навколишнє середовище. Це включає оцінку якості води, популяцій риб і стану місцевих екосистем, щоб переконатися, що станція працює відповідно до нормативних вимог і найкращих екологічних практик.

Приклад: система штучного інтелекту відстежує температуру та швидкість потоку води нижче за течією, коригуючи роботу для підтримки здоров'я водних екосистем.

### Зауваження щодо реалізації

Інфраструктура даних: впровадження цих додатків штучного інтелекту потребує надійної інфраструктури збору та керування даними, включаючи датчики та платформи аналізу даних.

Експертиза AI: Співпраця з експертами AI для розробки та підтримки прогнозних моделей і систем підтримки прийняття рішень, адаптованих до конкретних потреб гідроакумулюючої електростанції.

Відповідність нормативним вимогам: переконайтеся, що використання штучного інтелекту в роботі заводу відповідає місцевим і міжнародним нормам, що регулюють використання води, виробництво енергії та захист навколишнього середовища.

Постійне навчання: Регулярно оновлюйте моделі штучного інтелекту новими даними, щоб з часом підвищувати їх точність і ефективність.

Використовуючи штучний інтелект у цих сферах, гідроакумулююча електростанція може не тільки підвищити свою експлуатаційну ефективність і безпеку, але й більш ефективно сприяти стабільності та стійкості електромережі.

## 3.2 Байєсівські мережі в технологіях інтелектуального аналізу даних

В таблиці 3.1 наведені типи ризиків з відповідними очікуваними до них негативними наслідками і заходами по їх зменшенню.

Таблиця 3.1 - Типи ризиків

Тип ризику	Очікувані негативні наслідки	Заходи по зменшенню впливу ризику
Велика відстань до транспортних мереж	Створення додаткових під'їзних шляхів, підвищення витрат з експлуатації	Розробка ефективної логістичної стратегії для оптимізації маршрутів; використання місцевих ресурсів для скорочення витрат на транспорт
Велика відстань до інженерних мереж	Витрати на підведення тепла, електроенергії, води	Планування будівельних проектів ближче до існуючих мереж; використання альтернативних джерел енергії (сонячна, вітрова)
Обмеженість підрядників на виконання робіт	Завищується вартість робіт через монопольність підрядника	Проведення конкурсів і тендерів для залучення нових підрядників; встановлення довгострокових контрактів для зниження вартості
Виявлені недоліки в проектно-кошторисній документації	Збільшення кошторисної вартості будівництва, затримки строків виконання	Впровадження системи контролю якості документів; залучення експертів для перевірки документації на ранніх етапах проекту
Несвоєчасне постачання комплектуючих	Збільшення термінів виконання робіт, виплата штрафів підрядникам	Створення резервних запасів матеріалів; розробка альтернативних планів постачання
Невчасна підготовка інженерно-технічного персоналу і робітників	Збільшення терміну виходу на проектно-експлуатаційний режим	Організація регулярних тренінгів та навчальних програм; залучення досвідчених спеціалістів для підготовки персоналу

Продовження таблиці 3.1

Тип ризику	Очікувані негативні наслідки	Заходи по зменшенню впливу ризику
Нестійкість попиту	Падіння попиту в зв'язку зі зростанням цін	Проведення маркетингових досліджень для передбачення змін попиту; впровадження програм лояльності для клієнтів
Зниження цін конкурентами	Зниження ціни	Розробка стратегій диференціації продукції; вдосконалення сервісу для утримання клієнтів
Збільшення виробництва у конкурентів	Зменшення обсягів продаж або зниження ціни	Інвестування в інновації та якість продукції; розширення асортименту товарів
Неплатоспроможність споживачів	Падіння продажів, зниження ціни	Запровадження гнучких умов оплати; розширення ринків збуту
Зростання цін за сировину, матеріали, перевезення	Зниження прибутку через зростання цін	Довгострокові контракти з постачальниками; пошук альтернативних постачальників і матеріалів
Недостатність обігових коштів	Збільшення кредитів	Ефективне управління фінансами; залучення інвесторів
Низький рівень кваліфікації персоналу	Зниження ритмічності, зростання браку, збільшення аварій	Впровадження програм підвищення кваліфікації; стимулювання професійного розвитку



Продовження таблиці 3.1

Тип ризику	Очікувані негативні наслідки	Заходи по зменшенню впливу ризику
Недостатність ресурсів, сировини і матеріалів	Зниження якості продукту, зменшення обсягів виробництва через зупинку виробництва – переналагодження устаткування	Постійний моніторинг водних ресурсів, Встановлення водонапірних постів. Підвищення вимог до постачальників; проведення регулярного контролю якості сировини
Науково технічний прогрес у технологіях	Збільшуються витрати на освоєння, знижуються обсяги виробництва	Інвестування в дослідження і розвиток; співпраця з науковими установами для впровадження нових технологій
Недостатня надійність технології	Збільшується аварійність	Впровадження систем моніторингу і контролю за технологічними процесами; проведення регулярного обслуговування обладнання
Понаднормові скиди води, забруднення небезпечними речовинами	Штрафи за забруднення, витрачаються кошти на очисне устаткування	Впровадження екологічно чистих технологій; регулярний моніторинг і контроль паводків та скидів води; інвестування в модернізацію очисного устаткування.

### Система підтримки прийняття рішень на основі мереж Байєса

Розглянемо методику для розробки систем підтримки прийняття рішень заснованих на мережах Байєса. Байєсовські мережі (BN) — це ймовірнісні графічні моделі, які представляють набір змінних та їх умовні залежності через спрямований ациклічний граф. Вони є потужними інструментами для

моделювання невизначеності в системах прийняття рішень, особливо в будівельних проектах, де різноманітні невизначеності та складні взаємодії є поширеними. Цей документ описує метод використання байєсівських мереж для підтримки прийняття рішень у будівельних проектах, зосереджуючись на наукових термінах і формулах.

Структура байєсівських мереж:

- Вузли: Представляють змінні  $X_1, X_2, \dots, X_n$
- Ребер: Орієнтовані зв'язки між вузлами, що представляють умовні залежності.

- Таблиць умовних ймовірностей (CPT): Для кожного вузла  $P(X_i | \text{Parents}(X_i))$ , де  $\text{Parents}(X_i)$  — це батьківські вузли  $X_i$ . Спільний розподіл ймовірностей мережі задається добутком умовних ймовірностей кожного вузла за умови його батьків:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{Parents}(X_i)) \quad (3.4)$$

Застосування у системах прийнятті рішень у будівництві:

1. Моделювання змінних:
  - Визначити ключові змінні, що впливають на будівельний проект, такі як вартість, час, якість, ресурси та ризики.
  - Визначити вузли для цих змінних.
2. Визначення залежностей:
  - Встановити взаємозв'язки між змінними. Наприклад, вартість може залежати від наявності ресурсів, а час — від якості матеріалів.
  - Створити орієнтовані ребра для представлення цих залежностей.
3. Побудова CPT:
  - Для кожного вузла визначити CPT на основі історичних даних, експертних оцінок або статистичного аналізу. Ці таблиці представляють ймовірності кожної змінної за умови її батьківських змінних.

Приклад моделі. Розглянемо простий будівельний проект з наступними змінними: С: Вартість; Т: Час; Q: Якість; R: Ресурси.

Залежності можна структурувати так: С залежить від R і T; T залежить від Q; Q і R є незалежними. (Рис. 3.1.) А також, окреслимо матрицю сумісності (Рис. 3.2).

Спільний розподіл ймовірностей:

$$P(C,T,Q,R)=P(C|R,T)\cdot P(T|Q)\cdot P(Q)\cdot P(R) \quad (3.5)$$

Структурна схема мережі Байеса наведена на рисунку 3.1.

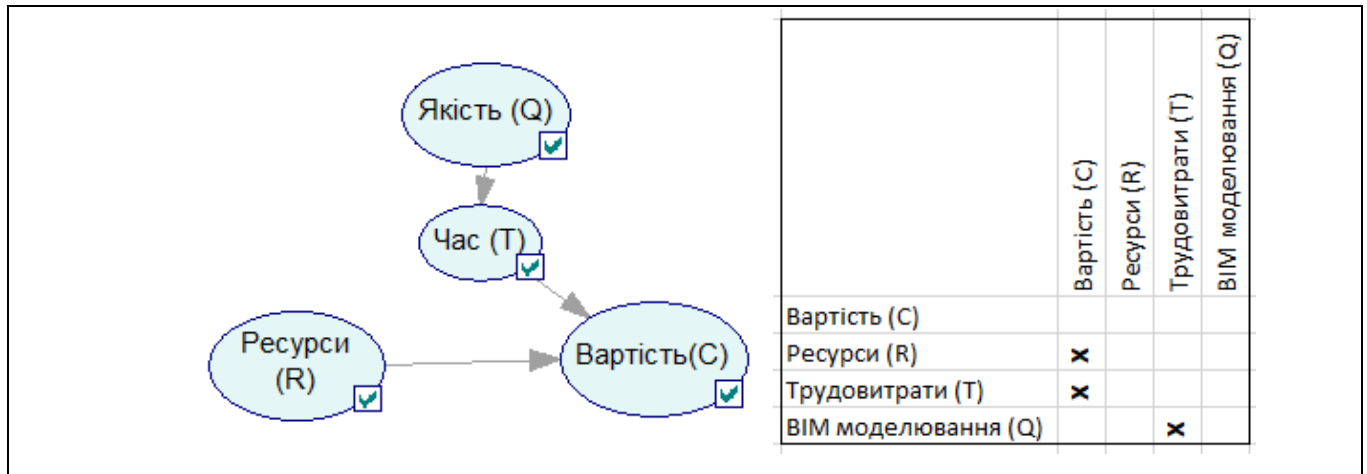


Рисунок 3.1 - Структурна схема мережі Байеса Рисунок 3.2 - Матриця сумісності Байеса

Байєсівський висновок Для виконання висновків, таких як прогнозування вартості за певних ресурсів і часу, використовуємо наступну формулу:

$$P(C|R = r, T = t) = \frac{P(C, R=r, T=t)}{P(R=r, T=t)} \quad (3.6)$$

З огляду на відомі значення R і T, можемо оновити наші оцінки про C:

$$P(C|R = r, T = t) = \frac{P(C|R=r, T=t) \cdot P(R=r) \cdot P(T=t)}{P(R=r) \cdot P(T=t)} \quad (3.7)$$

Практичний приклад. Для будівельного проекту, що включає будівництво мережі електричних станцій, припустимо: С (вартість) залежить від R; R (наявність ресурсів) і T (час); T (час) залежить від Q (якість проектних робіт та матеріалів).

Структура байєсівської мережі. Вузли: C, R, T, Q; Ребра: R→C, T→C, Q→T.

Таблиця умовних ймовірностей (табл.3.2) (CPT) визначена на основі зібраних даних. Наприклад,  $P(C|R,T)$  може бути отримано з минулих проектних даних, що показують, як змінюється вартість залежно від ресурсів і часу. Для обробки великих баз знань необхідно застосовувати машинне навчання для отримання достовірних результатів розподілу ймовірностей  $P(C|R,T)$ .

Застосування формули Байєса. Для прогнозування вартості  $C$  за певного рівня ресурсів  $R$  і часу  $T$ :

1. Визначити CPT:  $P(C|R,T)$ ;  $P(T|Q)$ ;  $P(Q)$ ;  $P(R)$ .

2. Обчислити спільну ймовірність:

$$P(C,T,Q,R)=P(C|R,T)\cdot P(T|Q)\cdot P(Q)\cdot P(R) \quad (3.8)$$

3. Оновити оцінки на основі спостережуваних даних:

З огляду на  $R=r$  і  $T=t$ :

$$P(C|R = r, T = t) = \frac{P(C|R=r,T=t)\cdot P(R=r)\cdot P(T=t)}{P(R=r)\cdot P(T=t)} \quad (3.9)$$

З огляду на наведені приклади зазначимо, що байєсівські мережі (BNs) забезпечують потужний каркас для прийняття рішень у будівельних проектах, моделюючи залежності між різними факторами та дозволяючи проводити ймовірнісні висновки. Завдяки оновленню оцінок на основі нових даних, BNs допомагають приймати обґрунтовані рішення, враховуючи невизначеності, властиві будівельним проектам.

На основі вищезазначеного прикладу розглянемо гіпотезу: ймовірність зменшення кінцевої вартості проекту ( $C$ ) за умови поліпшення якості проектних робіт ( $Q$ ) на базі BIM моделювання, доля яких збільшиться на 20%.

Отже, на основі зібраних та проаналізованих даних попередніх проектів отримано таблицю умовних ймовірностей (табл.3.2).

Таблиця 3.2- Умовні ймовірності ризиків

Ймовірність	Таблиці умовних ймовірностей (CPT)
-------------	------------------------------------

$P(C R,T)$	Ресурси(R)		☐ Достатні		☐ Недостатні	
	Трудовитрати (Т)		Збільшаться	Зменшаться	Збільшаться	Зменшаться
	▶ Збільшиться	0.3	0.1	0.9	0.4	
	Зменшиться	0.7	0.9	0.1	0.6	
$P(T Q)$	ВІМ моделюва..		Задовільна	Незадовіль..		
	▶ Збільшиться	0.1	0.9			
	Зменшиться	0.9	0.1			

Ймовірність	Таблиці умовних ймовірностей (СРТ)										
$P(Q)$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▶</td> <td>Задовільна</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Незадовільна</td> <td>0.4</td> </tr> </table>				▶	Задовільна	0.6		Незадовільна	0.4	
▶	Задовільна	0.6									
	Незадовільна	0.4									
$P(R)$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td>LEAK</td> </tr> <tr> <td>▶</td> <td>Достатні</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Недостатні</td> <td>0.2</td> </tr> </table>			LEAK	▶	Достатні	0.8		Недостатні	0.2	
		LEAK									
▶	Достатні	0.8									
	Недостатні	0.2									

Обчислимо ймовірність  $P(C|R=True, T=True)$

1. Нові ймовірності:

- $P(R)=0.8$
- $P(T|Q=True)=0.9$
- $P(T|Q=False)=0.1$
- $P(Q)=0.6$
- $P(C|R, T)$ :
  - $P(C|R=True, T=True)=0.3$
  - $P(C|R=True, T=False)=0.1$
  - $P(C|R=False, T=True)=0.9$
  - $P(C|R=False, T=False)=0.6$

2. Спостережувані значення:

- $R=True$
- $T=True$

3. Обчислимо спільну ймовірність  $P(C, R, T)$ :

$$P(C, R=True, T=True) = P(C|R=True, T=True) \times P(R=True) \times P(T=True)$$

Для обчислення  $P(T=True)$ :

$$P(T=True) = P(T=True|Q=True) \times P(Q) + P(T=True|Q=False) \times P(Q=False)$$

$$P(T=True) = 0.9 \times 0.6 + 0.1 \times 0.4 = 0.54 + 0.04 = 0.58$$

Тепер обчислимо  $P(C, R=\text{True}, T=\text{True})$ :

$$P(C, R=\text{True}, T=\text{True})=0.3 \times 0.8 \times 0.58=0.1392$$

Обчислимо маргінальну ймовірність  $P(R=\text{True}, T=\text{True})$ :

$$P(R=\text{True}, T=\text{True})=P(R=\text{True}) \times P(T=\text{True})=0.8 \times 0.58=0.464$$

Обчислимо умовну ймовірність  $P(C|R=\text{True}, T=\text{True})$ :

$$P(C|R=\text{True}, T=\text{True})=P(C, R=\text{True}, T=\text{True}) / P(R=\text{True}, T=\text{True})$$

$$P(C|R=\text{True}, T=\text{True})=0.1392 / 0.464 \approx 0.3$$

Таким чином, ймовірність  $P(C|R=\text{True}, T=\text{True})$  приблизно дорівнює 0.3.

На основі проведених розрахунків отримано результати (Рис. 3.3) з порівняльними показниками ВІМ моделювання в кількості 60% та 80%

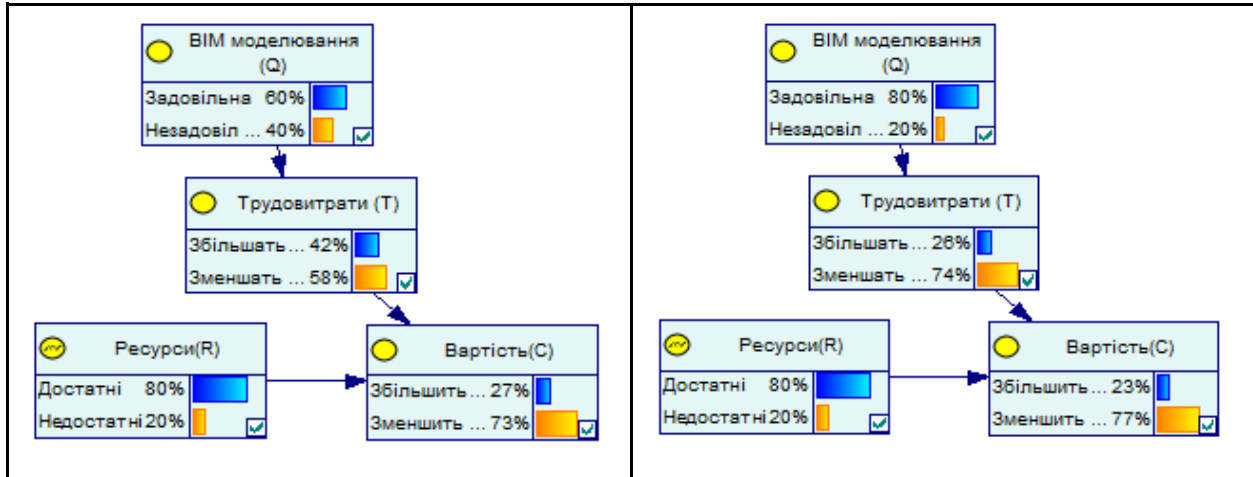


Рисунок 3.3 - Порівняльний розрахунок на базі мереж Байєса з показником застосування ВІМ моделювання у кількості 60% та 80%.

Згідно отриманих даних можна зазначити, що при збільшенні застосування ВІМ - моделювання при виконанні проектних робіт на 20%, фінальна вартість проекту (C) зменшиться на 4%. Результат отриманий при заданих значеннях в таблицях умовних ймовірностей.

Для уточнення даних в наступних ітераціях, яких проведено більше 1000 разів (рис.3.4.) бачимо що ймовірнісна частина знаходиться в межах від 0 до 5%.

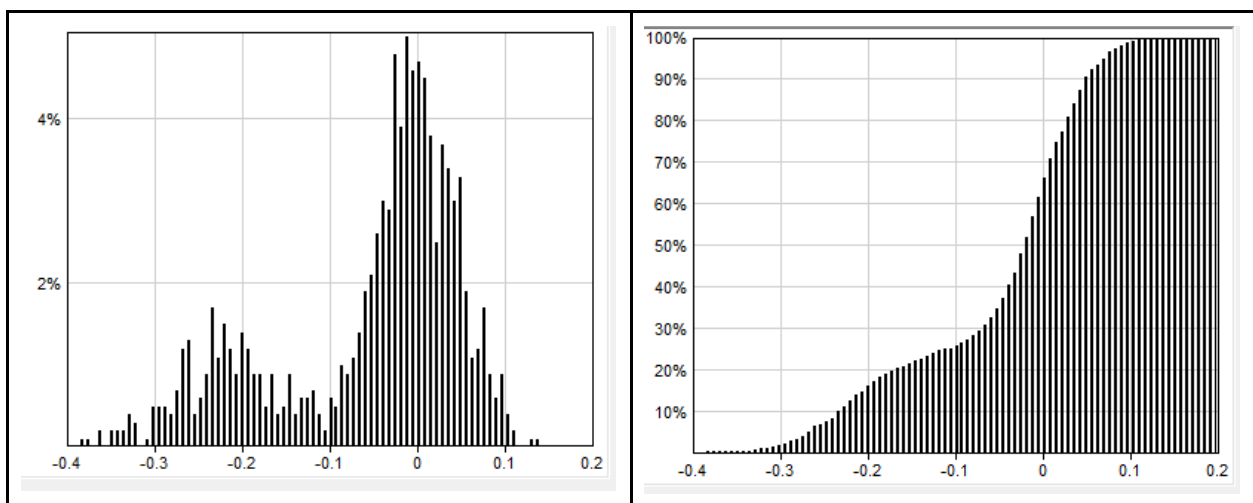


Рисунок 3.4 - Графік розподілу ймовірностей: Ймовірнісна частина та кумулятивна частина розрахунків



Штучний інтелект в експертних системах на основі мереж Байєса: переваги та обмеження

Байєсовські мережі (BN) — це потужні інструменти штучного інтелекту (AI), які використовуються для підтримки процесів прийняття рішень у різних сферах, включаючи будівництво. Вони пропонують структурований підхід до моделювання невизначеності та залежностей між змінними, що особливо корисно в складних середовищах, таких як будівельні проекти. У цьому розділі представлено огляд переваг і обмежень використання байєсівських мереж в експертних системах для побудови.

### 3.3 Моделювання управлінням організаційно-технологічними рішеннями по зменшенню ризиків на базі мереж Байєса

Для моделювання системи прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків, що передбачає прогнозування обсягів трудомісткості та фінансування проекту за відомими значеннями факторів впливу, використовуються рівняння для побудови мережі Байєса зі структурою причинно-наслідкових зв'язків. Ці рівняння зв'язують функції належності різних рівнів вхідних та вихідних змінних, що наведені на дереві логічного висновку (рис. 3.5). Кожному логічному рівнянню передуює база знань у вигляді експертних висловлювань про зв'язки нечітких термів вхідних та вихідних лінгвістичних змінних в співвідношеннях (3.1) – (3.7)

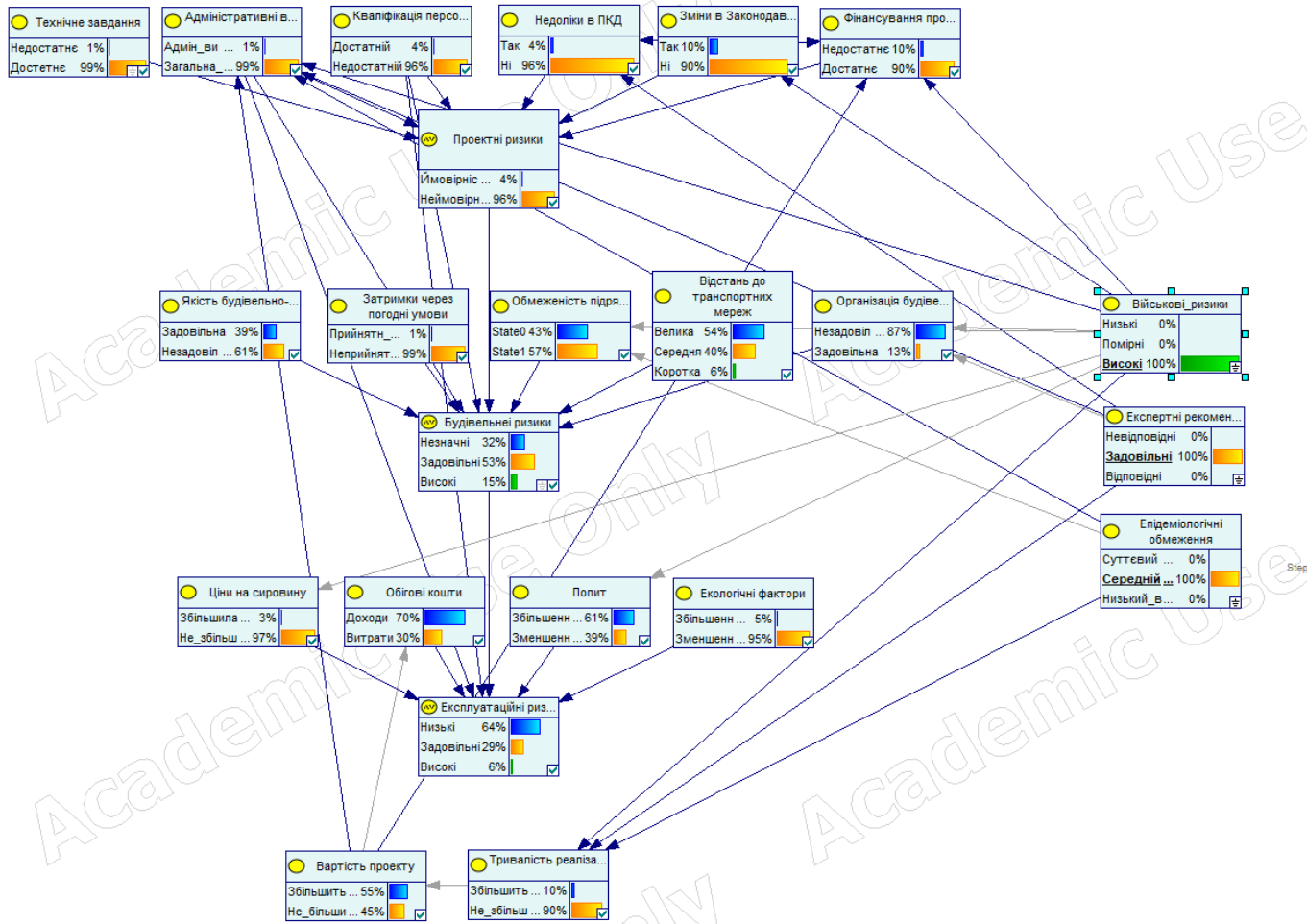


Рисунок 3.5 – Структурна схема проекту на основі мереж Байєса

На цій діаграмі представлено дерево ризиків у будівництві, структуроване за допомогою байєсівської мережі. Воно ділиться на три основні групи ризиків: проектні, Будівельні (виробничі) та експлуатаційні. Кожна група містить підкатегорії, які вказують на специфічні ризики, асоційовані з кожною областю. Це візуалізація дозволяє краще зрозуміти структуру ризиків і може бути використана для аналізу й управління цими ризиками в процесі планування та виконання будівельних проектів.

На основі отриманої технологічної схеми складемо матрицю залежностей факторів ризику (рис.3.6). Залежності між елементами матриці ризику мереж Байєса визначаються шляхом аналізу взаємодії різних факторів ризику з аспектами будівельного проекту.

	Вартість проекту	Тривалість реалізації проекту	Експлуатаційні ризики	Екологічні фактори	Попит	Обігові кошти	Ціни на сировину	Будівельні ризики	Організація будівельного виробництва	Проектні ризики	Технічне завдання	Недоліки в ПКД	Відстань до транспортних мереж	Обмеженість підрядників	Затримки через погодні умови	Якість будівельно-монтажних робіт	Кваліфікація персоналу	Адміністративні витрати	ВІМ Технології	Фінансування проекту	Епідеміологічні обмеження	Експертні рекомендації	Зміни в Законодавстві	Військові_ризики
Вартість проекту																								
Тривалість реалізації проекту	X																							
Експлуатаційні ризики	X																							
Екологічні фактори		X																						
Попит		X																						
Обігові кошти		X																						
Ціни на сировину		X																						
Будівельні ризики		X																						
Організація будівельного виробництва								X																
Проектні ризики								X																
Технічне завдання										X														
Недоліки в ПКД										X														
Відстань до транспортних мереж								X																
Обмеженість підрядників								X																
Затримки через погодні умови								X																
Якість будівельно-монтажних робіт								X																
Кваліфікація персоналу			X					X	X															
Адміністративні витрати			X					X	X															
ВІМ Технології			X					X	X	X								X						
Фінансування проекту									X											X				
Епідеміологічні обмеження			X										X							X				
Експертні рекомендації			X					X	X	X										X				
Зміни в Законодавстві								X	X	X											X			
Військові_ризики			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Рисунок 3.6 - Матриця залежностей факторів ризику

Ось опис деяких ключових залежностей, які відображені на матриці:

#### 1. Вартість проекту:

- Тривалість реалізації проекту: Збільшення тривалості проекту може призвести до зростання загальної вартості через додаткові витрати на оплату праці, матеріали тощо.

- Будівельні ризики: Невраховані ризики можуть підвищити вартість проекту через непередбачені витрати на усунення проблем.

#### 2. Тривалість реалізації проекту:

- Затримки через погодні умови: Непередбачувані погодні умови можуть затримати будівництво, що вплине на терміни реалізації проекту.

- Недоліки в ПКД: Виявлені недоліки в проектно-кошторисній документації можуть призвести до затримок у будівництві через необхідність внесення змін.

### 3. Експлуатаційні ризики:

- Будівельні ризики: Ризики, що виникають під час будівництва, можуть вплинути на майбутню експлуатацію об'єкта, наприклад, через неякісне виконання робіт.

- Екологічні фактори: Вплив на навколишнє середовище може призвести до додаткових експлуатаційних ризиків, зокрема пов'язаних із законодавчими обмеженнями.

### 4. Обмеженість підрядників:

- Якість будівельно-монтажних робіт: Обмежений вибір підрядників може вплинути на якість виконання робіт, оскільки не завжди є можливість вибрати найкращого виконавця.

- Вартість робіт: Монопольне становище підрядників може призвести до завищення вартості будівельних робіт.

### 5. Фінансові ризики:

- Ціни на сировину: Зміни у вартості сировини можуть суттєво вплинути на фінансові показники проекту.

- Недостатність обігових коштів: Проблеми з обіговими коштами можуть призвести до зупинки будівництва або збільшення термінів виконання робіт.

### 6. Технічні завдання:

- Кваліфікація персоналу: Недостатня кваліфікація персоналу може вплинути на виконання технічних завдань, що може призвести до помилок і додаткових витрат на їх усунення.

Ці залежності показують, як різні фактори ризику взаємодіють між собою і впливають на загальний успіх будівельного проекту. Використання Байєсовських мереж дозволяє моделювати ці взаємозв'язки та здійснювати прогнозування потенційних ризиків і їхнього впливу на проект.

### 3.4 Порівняльний розрахунок ймовірностей за умови застосування BIM-технологій в будівельних проектах

На основі вказаної мережі Байєса напиши формулу Байєса для знаходження ймовірності збільшення тривалості реалізації проекту від впровадження BIM технологій при проектуванні; проектних ризиків; будівельних ризиків; експлуатаційних ризиків; військових ризиків; експертних рекомендацій; епідеміологічних обмежень.

Для початку виконання розрахунків позначимо ризики , які наведені в структурній схемі (рис.3.5 ), латинськими символами, згідно таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 - Позначення ризиків

Ризики	Позначення
Вартість проекту	Pc
Тривалість реалізації проекту	Pd
Експлуатаційні ризики	Re
Екологічні фактори	Ef
Попит	D
Обігові кошти	Cc
Ціни на сировину	Mr
Будівельні ризики	Rb

## Продовження таблиці 3.3

Ризики	Позначення
Організація будівельного виробництва	Cm
Проектні ризики	Rp
Технічні завдання	Ts
Недоліки в ПКД	Dd
Відстань до транспортних мереж	Dt
Обмеженість підрядників	Lc
Затримки через погодні умови	Wd
Якість будівельно-монтажних робіт	Cq
Кваліфікація персоналу	Wq
Адміністративні витрати	Ae
ВІМ Технології	B
Фінансування проекту	Pf
Епідеміологічні обмеження	Eo
Експертні рекомендації	Er
Зміни в законодавстві	L
Військові ризики	Rw

Для визначення ймовірності збільшення тривалості реалізації проекту від впровадження ВІМ технологій при проектуванні з урахуванням проектних, будівельних, експлуатаційних, військових ризиків, експертних рекомендацій та епідеміологічних обмежень, ми використовуємо розширену формулу Байєса (Рис. 3.7) Ця формула включає всі зазначені умови.

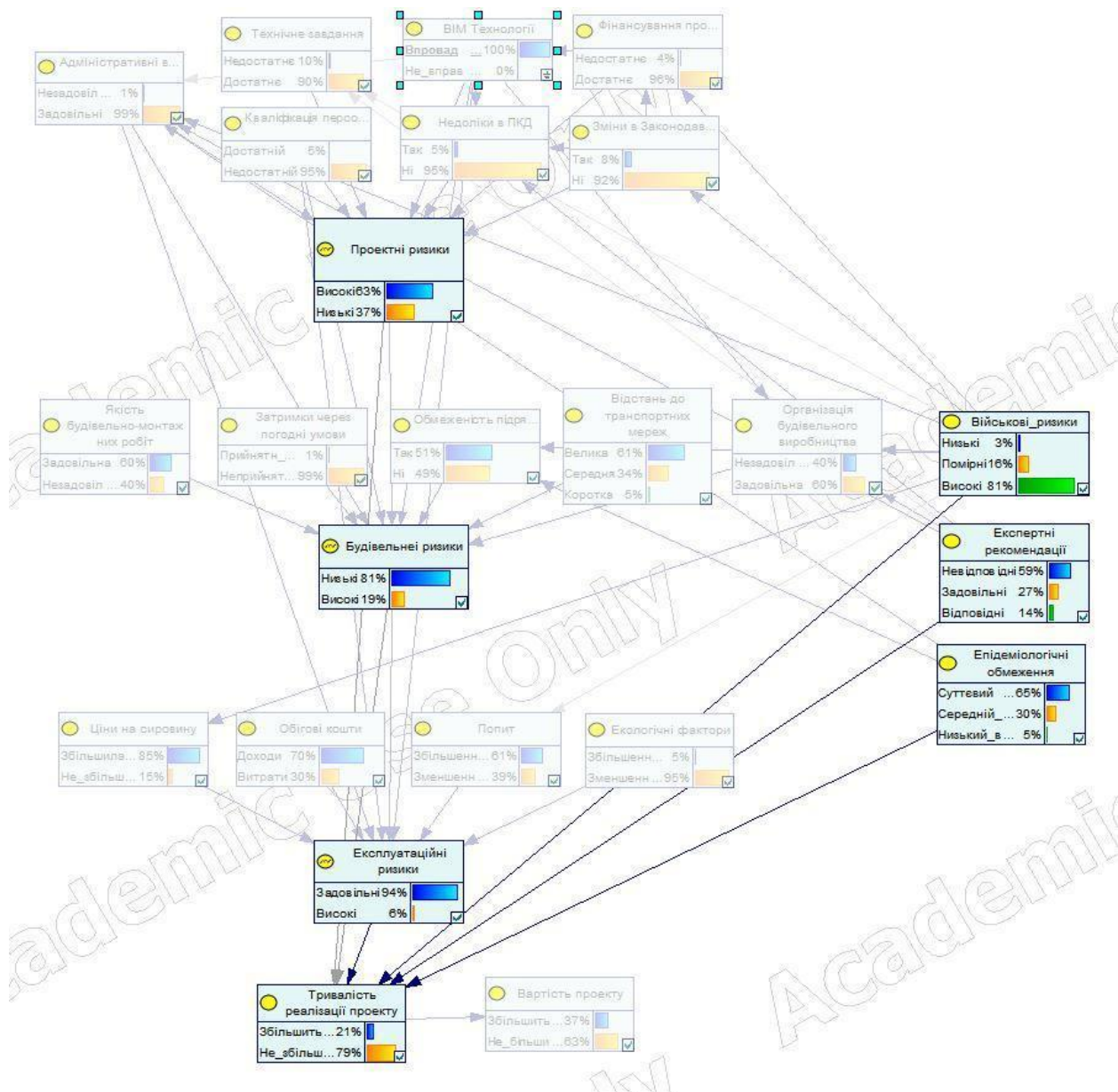


Рисунок 3.7 – Структурна схема мережі Байєса для визначення при впровадженні BIM технологій  $P(B)=1.0$

Позначимо:

- $P(T_{збільш}|B, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)$  — ймовірність збільшення тривалості реалізації проекту за умови впровадження BIM технологій і наявності проектних ризиків, будівельних ризиків, експлуатаційних ризиків, військових ризиків, експертних рекомендацій та епідеміологічних обмежень.

- $P(B|T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)P(B | T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)P(B|T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)$  — ймовірність впровадження ВІМ технологій за умов збільшення тривалості реалізації проекту і наявності всіх зазначених ризиків та обмежень.
- $P(T_{\text{збільш}}|R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)P(T_{\text{збільш}} | R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)P(T_{\text{збільш}}|R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)$  — ймовірність збільшення тривалості реалізації проекту за умов наявності всіх зазначених ризиків та обмежень.
- $P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)$  — ймовірність наявності всіх зазначених ризиків та обмежень.
- $P(B)P(B)P(B)$  — ймовірність впровадження ВІМ технологій.

Формула Байєса виглядає наступним чином:

$$\frac{P(T_{\text{збільш}}|B, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) \cdot P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)}{P(B|T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) \cdot P(T_{\text{збільш}}|R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) \cdot P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)} = P(B) \quad (3.10)$$

На основі даних з мережі Байєса, ми можемо використовувати ймовірності згідно заданих параметрів (Рис. 4.7):

- $P(B|T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)=0.8$
- $P(T_{\text{збільш}}|R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)=0.21$  (з графіка ймовірність збільшення тривалості реалізації проекту)
- $P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)=0.63 \cdot 0.19 \cdot 0.06 \cdot 0.81 \cdot 0.14 \cdot 0.30$  (ймовірності окремих ризиків та обмежень)
- $P(B)=1.0$  (з графіка ймовірність впровадження ВІМ технологій при проектуванні)

Обчислимо ймовірність:

1. Розрахуємо спільну ймовірність ризиків:

$$P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)=0.63 \cdot 0.19 \cdot 0.06 \cdot 0.81 \cdot 0.14 \cdot 0.30=0.000344232$$

2. Підставимо значення у формулу Байєса:



$$P(T_{\text{збільш}}|B, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = \frac{0.8 \cdot 0.21 \cdot 0.000344232}{1.0} = 0.00005796048$$

Таким чином, ймовірність збільшення тривалості реалізації проекту від впровадження ВІМ технологій при проектуванні з урахуванням проектних, будівельних, експлуатаційних, військових ризиків, експертних рекомендацій та епідеміологічних обмежень становить приблизно 0.0058%, що є дуже низьким показником, і, можливо, потребує перевірки вхідних ймовірностей або модифікації підходу до їх розрахунку.

Виконаємо аналогічний розрахунок, використовуючи оновлені значення ймовірностей з зображення мережі Байєса з показником впровадження ВІМ технологій 1% (рис. 3.8) ( $P(B)=0.01$ ).

З оновленого зображення мережі ймовірності для різних вузлів є наступними:

- $P(B|T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = 0.8$
- $P(T_{\text{збільш}}|R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = 0.22$  (ймовірність збільшення тривалості реалізації проекту)
- $P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = 0.19 \cdot 0.19 \cdot 0.07 \cdot 0.82 \cdot 0.14 \cdot 0.30$  (ймовірності окремих ризиків та обмежень)
- $P(B) = 0.01$

Обчислимо ймовірність:

1. Розрахуємо спільну ймовірність ризиків:

$$P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = 0.19 \cdot 0.19 \cdot 0.07 \cdot 0.82 \cdot 0.14 \cdot 0.30$$

$$P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = 0.000804276$$

2. Підставимо значення у формулу Байєса:

$P(T_{\text{збільш}}|B, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) =$

$(P(B | T_{\text{збільш}}, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) \cdot P(T_{\text{збільш}} | R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) \cdot P(R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o)) / P(B)$

Підставимо значення:

$$P(T_{\text{збільш}}|B, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = \frac{0.8 \cdot 0.22 \cdot 0.000804276}{0.01}$$

Обчислимо:

$$P(T_{\text{збільш}}|B, R_p, R_b, R_e, R_w, E_r, E_o) = \frac{0.8 \cdot 0.22 \cdot 0.000804276}{0.01} = \frac{0.00014155568}{0.01} = 0.014155568$$

Отже, ймовірність збільшення тривалості реалізації проекту від впровадження ВІМ технологій при проектуванні з урахуванням проектних, будівельних, експлуатаційних, військових ризиків, експертних рекомендацій та епідеміологічних обмежень становить приблизно 1.4156%.

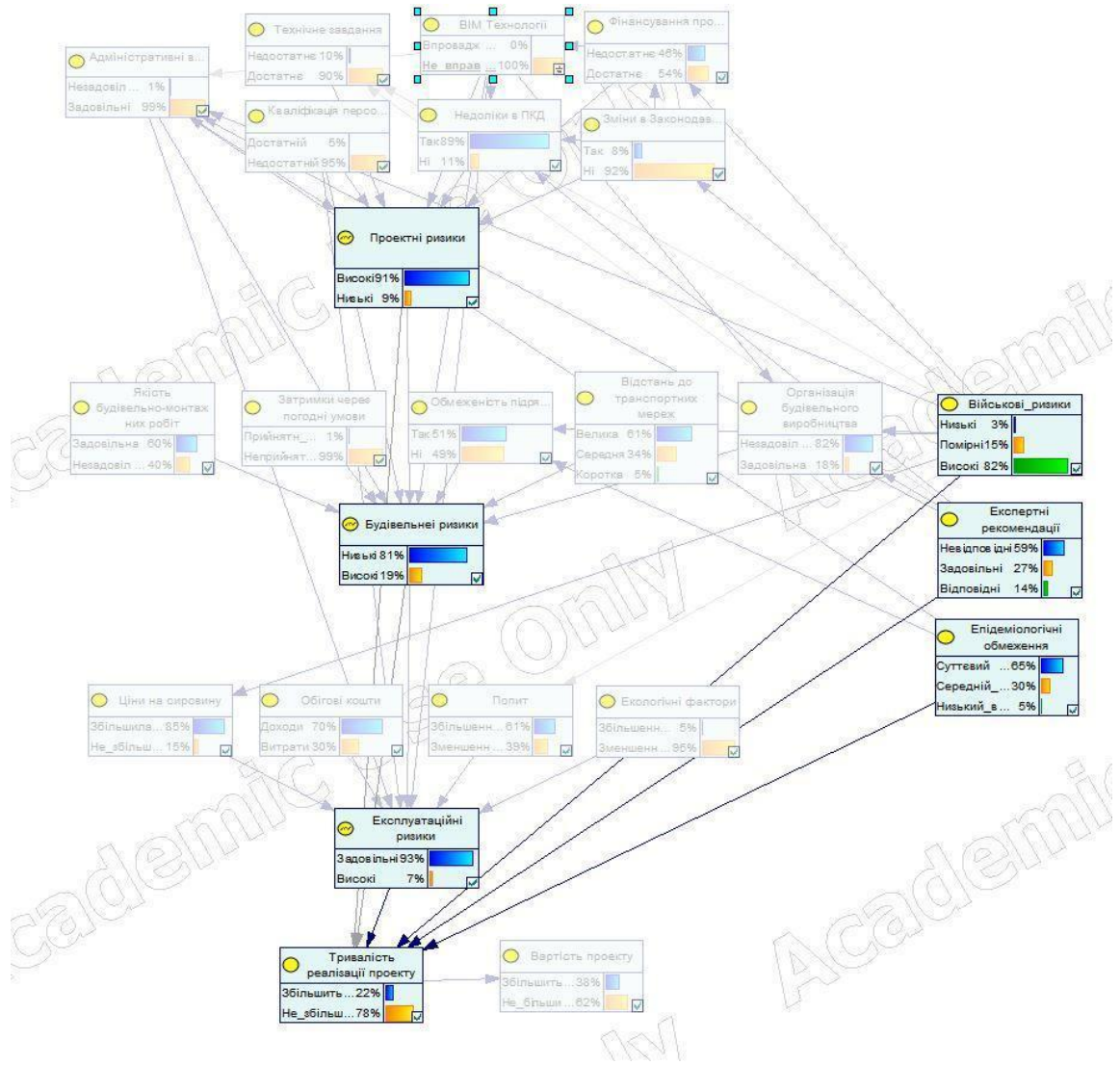


Рисунок 3.8 – Структурна схема мережі Байеса для визначення при впровадженні ВІМ технологій  $P(B)=0.01$

### 3.5 Аналіз систем управління ризиками в будівництві

#### Переваги байєсівських мереж у побудові експертних систем

Імовірнісне міркування: BN забезпечують природну основу для обробки невизначеності шляхом моделювання імовірнісних зв'язків між різними змінними. Ця можливість має вирішальне значення в будівництві, де багато факторів, таких як витрати, ресурси та умови навколишнього середовища, є невизначеними [9].

Навчання з даних: BN можна оновлювати новими даними, що дозволяє покращувати систему з часом, коли стає доступною додаткова інформація. Це адаптивне навчання є корисним у динамічному будівельному середовищі, де умови можуть швидко змінюватися [10].

Експертна інтеграція: BN можуть інтегрувати експертні знання з емпіричними даними, створюючи надійні моделі, які виграють як від теоретичних, так і від практичних уявлень. Ця комбінація підвищує точність і надійність процесу прийняття рішень [11].

Гнучкість і масштабованість: BN є гнучкими і можуть застосовуватися до різних аспектів будівельних проектів, від оцінки ризиків до планування проекту. Вони можуть масштабуватися для розміщення великих наборів даних і складних зв'язків, що робить їх придатними для масштабних проектів [12].

Підтримка прийняття рішень: Моделюючи причинно-наслідкові зв'язки, BN забезпечують чіткі шляхи для діагностики проблем і прогнозування результатів, що допомагає у проактивному прийнятті рішень і покращує загальне управління проектом [13].

### 3.6 Обмеження байєсівських мереж у будівельних експертних системах

Складність побудови моделі: Побудова BN вимагає значних знань і зусиль, особливо при визначенні структури мережі та умовних ймовірностей. Цей процес може зайняти багато часу та бути схильним до помилок [14].

Вимоги до даних: BN потребують значної кількості даних для точної оцінки ймовірностей різних результатів. У будівництві отримання достатніх і надійних даних може бути складним завданням, особливо для нових або унікальних проектів [15].

Обчислювальні вимоги: Обчислювальна складність BN може бути високою, особливо для великих мереж із багатьма змінними. Це може обмежити практичне використання BN у сценаріях прийняття рішень у реальному часі, якщо обчислювальними ресурсами не керувати належним чином [16].

Можливість тлумачення: Хоча BN забезпечують сувору ймовірнісну структуру, їх результати інколи важко інтерпретувати не експертам. Це може перешкоджати прийняттю та використанню систем на основі BN у польових умовах, де часто потрібні чіткі та прямі розуміння [17].

### 3.7 Оцінка експертних систем управління ризиками на основі мереж Байєса

За останні роки складність і масштаб будівельних проектів значно зросли, що зумовило необхідність впровадження передових методів управління ризиками. Один із багатообіцяючих підходів передбачає використання експертних систем, зокрема тих, що базуються на байєсівських мережах, для ефективної оцінки та пом'якшення ризиків. У цьому розділі розглядається оцінка таких експертних систем управління ризиками, зосереджуючись на їхній структурі, функціональності та продуктивності в реальних сценаріях.

Огляд байєсівських мереж. Байєсовські мережі — це ймовірнісні графічні моделі, які представляють набір змінних та їх умовні залежності за допомогою спрямованого ациклічного графа (DAG). Кожен вузол на графіку представляє

випадкову величину, а ребра позначають імовірнісні залежності між цими змінними. Ця структура дозволяє включати експертні знання та поводитися з невизначеністю, що робить її особливо придатною для управління ризиками в будівельних проектах.

## Структура експертних систем управління ризиками

Експертні системи управління ризиками на основі байєсівських мереж зазвичай складаються з таких компонентів:

1. База знань: включає історичні дані, експертні думки та ймовірнісні зв'язки між різними факторами ризику.

2. Inference Engine: ядро байєсівської мережі, яке виконує ймовірнісні міркування та оновлює переконання на основі нових доказів.

3. Інтерфейс користувача: інтерактивний інтерфейс, який дозволяє користувачам вводити дані, візуалізувати мережу та інтерпретувати результати.

База знань створюється шляхом ідентифікації ключових факторів ризику та визначення їх взаємозв'язків. Ці фактори можуть включати фінансові ризики, ризики тривалості проекту, ризики якості та зовнішні ризики, такі як екологічні та політичні фактори. Залежності між цими факторами кодуються за допомогою таблиць умовної ймовірності (CPT).

## Функціональність байєсівських мережевих систем

Основні функції цих систем включають:

1. Ідентифікація ризиків: Визначення потенційних ризиків, які можуть вплинути на проект.

2. Аналіз ризиків: Аналіз виявлених ризиків для розуміння їх впливу та ймовірності.

3. Оцінка ризику: Оцінка загального профілю ризику проекту на основі байєсівської мережі.

4. Зменшення ризиків: Пропозиція стратегій для пом'якшення виявлених ризиків.

Ці функції досягаються за допомогою ймовірнісного висновку, який дозволяє системі оновлювати ймовірність виникнення ризику, коли нова інформація стає доступною. Це динамічне оновлення має вирішальне значення для постійного управління ризиками протягом життєвого циклу проекту.

Приклад: застосування в будівельних проектах

Щоб проілюструвати практичне застосування байєсівських мережевих експертних систем управління ризиками, ми розглянемо приклад великомасштабного будівельного проекту. Проект включає багато зацікавлених сторін, значні фінансові інвестиції та стислий графік.

#### Крок 1: Побудова байєсівської мережі

Першим кроком є побудова мережі Байєса. Виявлені ключові фактори ризику включають вартість проекту, тривалість, якість і зовнішні фактори, такі як нормативні зміни та погодні умови. Експерти надають початкові оцінки ймовірності цих факторів та їхніх залежностей.

#### Крок 2: Введення даних і висновок

Під час проекту дані в режимі реального часу вводяться в систему, включаючи перевищення витрат, затримки та проблеми з якістю. Механізм висновків оновлює ймовірності ризику на основі цієї нової інформації, надаючи оновлений профіль ризику.

#### Крок 3: Стратегії зменшення ризиків

На основі оновленого профілю ризику система пропонує стратегії пом'якшення. Наприклад, якщо ризик затримки проекту зростає через несподівані погодні умови, система може рекомендувати збільшення робочої сили або перепланування певних робіт, щоб пом'якшити вплив.

#### Крок 4: Постійний моніторинг і оновлення

Система постійно відстежує проект і оновлює профіль ризику, коли з'являються нові дані. Це дозволяє проактивно керувати ризиками, забезпечуючи вирішення потенційних проблем до того, як вони стануть критичними.

### 6. Оцінка ефективності

Продуктивність байєсівської мережевої системи управління ризиками оцінюється за такими критеріями:

1. Точність: здатність системи точно передбачати ризики та їхні наслідки.
2. Своєчасність: швидкість, з якою система оновлює ймовірності ризику та пропонує стратегії пом'якшення.



3. **Значливість:** легкість, з якою керівники проектів та інші зацікавлені сторони можуть взаємодіяти з системою.

4. **Ефективність:** загальний вплив системи на результати проекту, включаючи економію коштів, зменшення затримок і покращену якість.

Приклад демонструє, що байєсовська мережева система забезпечує точну та своєчасну оцінку ризиків. Керівники проектів повідомляють, що система є зручною для користувачів і значно покращує їх здатність проактивно керувати ризиками. Загальна ефективність підтверджується зменшенням затримок проектів і перевитрати коштів.

Системи експертного управління ризиками на основі байєсівської мережі пропонують надійний і гнучкий підхід до управління ризиками в складних будівельних проектах. Використовуючи ймовірнісні міркування та експертні знання, ці системи забезпечують точну, своєчасну та практичну оцінку ризиків. Приклад ілюструє їх практичне застосування та переваги, підкреслюючи їхній потенціал для значного покращення результатів проекту.

Майбутні дослідження мають бути зосереджені на інтеграції цих систем з іншими інструментами управління проектами, покращенні їхніх прогностичних можливостей за допомогою методів машинного навчання та розширенні їх застосування в інших галузях.

У цій главі представлено вичерпний огляд оцінки експертних систем управління ризиками на основі байєсівських мереж, наголошуючи на їхній структурі, функціональності, практичному застосуванні та оцінці ефективності. Це підкреслює переваги використання таких систем для ефективного управління складними проектами.

### 3.8 Оптимізація експертних систем управління ризиками на основі байєсівських мереж

У динамічному та складному середовищі будівельних проектів оптимізація систем управління ризиками має вирішальне значення для забезпечення успіху

проекту. Експертні системи управління ризиками на основі байєсівських мереж пропонують складний підхід до обробки невизначеностей і прийняття обґрунтованих рішень. У цьому розділі розглядається оптимізація цих систем, зосереджуючись на підвищенні їх ефективності, точності та зручності використання.

#### Розуміння байєсівських мереж

Байєсовські мережі є формою імовірнісних графічних моделей, які представляють набір змінних та їхніх умовних залежностей через спрямований ациклічний граф (DAG). Кожен вузол на графіку символізує випадкову величину, а краї ілюструють імовірнісні залежності між цими змінними. Байєсовські мережі особливо ефективні в управлінні ризиками завдяки своїй здатності інтегрувати експертні знання та керувати невизначеністю.

#### Ключові компоненти експертних систем управління ризиками

Для оптимізації експертних систем управління ризиками на основі байєсівських мереж важливо розуміти їх ключові компоненти:

1. База знань: містить історичні дані, експертні оцінки та ймовірнісні зв'язки між факторами ризику.
2. Inference Engine: основний компонент, який виконує ймовірнісні міркування та оновлює переконання на основі нових доказів.
3. Інтерфейс користувача: інтерактивна платформа, яка дозволяє користувачам вводити дані, візуалізувати мережу та інтерпретувати результати.

#### Стратегії оптимізації

До оптимізації цих систем можна підійти за допомогою різних стратегій:

1. Покращення бази знань
  - Збір та інтеграція даних: об'єднайте різноманітні джерела даних, включаючи історичні дані проекту, дані в реальному часі та думки експертів, щоб збагатити базу знань.
  - Якість і узгодженість даних: Забезпечте точність, повноту та послідовність даних для підвищення надійності байєсівської мережі.

2. Покращення механізму логічного висновку

- Ефективність алгоритму: оптимізуйте алгоритми, які використовуються для ймовірнісного висновку, щоб підвищити ефективність обчислень і скоротити час обробки.

- Паралельна обробка: реалізуйте методи паралельної обробки, щоб ефективніше обробляти великі набори даних і складні мережі.

- Динамічне оновлення: розробіть механізми для оновлення мережі в режимі реального часу в міру появи нових даних, забезпечуючи актуальність і точність системи.

### 3. Покращення інтерфейсу користувача та досвіду

- Зручний дизайн: створіть інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс для полегшення введення даних та інтерпретації результатів.

- Інструменти візуалізації: включайте розширені інструменти візуалізації, щоб допомогти користувачам краще зрозуміти мережу та зв'язки між змінними.

- Інтерактивні функції: розробляйте інтерактивні функції, які дозволяють користувачам імітувати різні сценарії та бачити потенційний вплив на ризики проекту.

### 5. Приклад: оптимізована система в дії

Щоб продемонструвати практичне застосування оптимізованої експертної системи управління ризиками, розглянемо масштабний будівельний проект.

#### Крок 1: Побудова та оптимізація байєсівської мережі

Спочатку байєсовська мережа будується шляхом визначення ключових факторів ризику, таких як вартість проекту, тривалість, якість, а також зовнішніх факторів, таких як нормативні зміни та погодні умови. Стратегії оптимізації застосовуються для підвищення інтеграції даних і ефективності алгоритму.

#### Крок 2: Інтеграція даних у реальному часі

Під час проекту дані в режимі реального часу безперервно надходять у систему. Оптимізований механізм висновків швидко обробляє ці дані та відповідно оновлює ймовірності ризику, забезпечуючи актуальний профіль ризику.

#### Крок 3: Симуляція сценарію та зменшення ризику

Оптимізована система дозволяє керівникам проектів моделювати різні сценарії, наприклад затримки через погодні умови або перевитрати коштів. На основі цих симуляцій система пропонує ефективні стратегії зменшення ризиків, такі як перерозподіл ресурсів або коригування графіків проекту.

#### Крок 4: Постійний моніторинг і зворотний зв'язок

Система постійно контролює проект і надає зворотний зв'язок у режимі реального часу, забезпечуючи проактивне управління ризиками. Зручний інтерфейс і інструменти візуалізації допомагають менеджерам легко інтерпретувати дані та приймати зважені рішення.

#### 6. Оцінка ефективності

Ефективність оптимізованої експертної системи управління ризиками оцінюється на основі:

1. Точність: здатність точно прогнозувати ризики та їхні наслідки.
2. Ефективність: швидкість і обчислювальна ефективність механізму логічного висновку.
3. Юзабіліті: простота використання та задоволеність користувача інтерфейсом системи.
4. Ефективність: загальний вплив системи на результати проекту, включаючи економію коштів, зменшення затримок і покращену якість.

#### Результати

Випадок показує, що оптимізована система значно підвищує точність прогнозування ризиків і швидкість обробки. Користувачі повідомляють про високу задоволеність зручністю використання системи та корисною інформацією, яку вона надає. Проект має переваги від скорочення затримок і перевитрат, що демонструє ефективність системи.

Оптимізація експертних систем управління ризиками на основі байєсівських мереж підвищує їх здатність ефективно керувати складними будівельними проектами. Завдяки покращенню інтеграції даних, ефективності алгоритмів і взаємодії з користувачем ці системи стають точнішими, ефективнішими та

зручнішими. Приклад ілюструє практичні переваги таких оптимізацій, підкреслюючи їх потенціал для значного покращення результатів проекту.

Майбутні дослідження повинні бути зосереджені на подальшому вдосконаленні цих систем шляхом інтеграції методів машинного навчання, розширення їх застосування в інших галузях і постійного вдосконалення інтерфейсу користувача для задоволення мінливих потреб користувачів.

У цьому розділі міститься вичерпний посібник з оптимізації експертних систем управління ризиками на основі байєсівських мереж, наголошуючи на стратегіях підвищення їх ефективності, точності та зручності використання. Він демонструє практичне застосування та переваги цих оптимізацій через детальне прикладне дослідження.

### Висновок до розділу 3

Байєсовські мережі пропонують значні переваги в управлінні складнощами та невизначеністю, властивими будівельним проектам. Їхня здатність інтегрувати експертні знання з емпіричними даними, обробляти імовірнісні міркування та підтримувати адаптивне навчання робить їх цінними інструментами в експертних системах будівництва. Однак такі проблеми, як складність побудови моделі, вимоги до даних, обчислювальні вимоги та можливість інтерпретації, необхідно вирішити, щоб повністю використати їхній потенціал.

На основі запропонованої моделі підтримки прийняття рішень в будівництві, розглянуто гіпотезу ймовірності зменшення кінцевої вартості проекту (C) за умови поліпшення якості проектних робіт (Q) на базі BIM моделювання, доля яких збільшиться на 20%. За результатом отриманих розрахунків визначено, що кінцева вартість реалізованих проектів може бути зменшена на 4% при збільшенні долі BIM моделювання при розробці, будівництві та експлуатації мережі електричних станцій. При масштабуванні мережі доля капітальних інвестицій збільшується значною мірою, тому розуміння правильного прийняття рішень на ранніх етапах будівництва може призвести до суттєвої економії ресурсів та забезпечить прозорість при виконанні робіт на всіх етапах будівництва.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок величини ризиків всіх учасників будівництва

Для визначення величини ризиків в проектно-кошторисній документації розглянули промисловий об'єкт, для якого складений зведений кошторисний розрахунок (ЗКР) за допомогою програмного комплексу Будівельні технології (табл.4.2) . В ЗКР обов'язковою статтею є кошти на покриття ризиків учасників будівництва. Відповідно до Настанови визначення вартості будівництва додаток 28 величина ризику для промислового об'єкту на стадії розробки проекту приймається 6%.(табл.2.1) .

Величина ризику усіх учасників будівництва наведена в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва (Р)

Перемінна	Найменування вихідних даних і витрат	Значення
	<b>Розрахунок</b>	
П1	Вартість будівельних робіт по главах 1-12, грн.	28392918
П2	будівельні роботи, грн.	25950461
П3	монтажні роботи, грн.	7869
П6	інші витрати, грн.	2304662
П7	Вартість обладнання, грн.	129926
Р.БР	будівельні роботи, грн. П2 * 0,0600%	1557028
Р.МР	монтажні роботи, грн. П3 * 0,0600%	472
Р.ІР	інші витрати, грн. П6 * 0,0600%	138280
Р.ОБ	Вартість обладнання, грн. П7 * 0,0600%	7796
Р	Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва (Р), грн.	1703576

(назва організації, що затверджує)

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Зведений кошторисний розрахунок в сумі

42336.954 тис. грн.

В тому числі зворотних сум

99.715 тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Таблиця 4.2 ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК  
ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА № \_\_\_\_\_

Цех

(найменування об'єкта будівництва)

Складений в поточних цінах станом на 6 травня 2024 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
<b>Глава 1. Підготовка території будівництва</b>						
1	01-001				4.600	4.600
		<b>Разом за главою № 1</b>			4.600	4.600
<b>Глава 2. Об'єкти основного призначення</b>						
2	02-001	Цех	19055.921	129.926		19185.847
		<b>Разом за главою № 2</b>	19055.921	129.926		19185.847



		<b>Глава 3. Об'єкти підсобного та обслуговувального призначення</b>				
3	03-001		427.800			427.800
		<b>Разом за главою № 3</b>	427.800			427.800
		<b>Глава 4. Об'єкти енергетичного господарства</b>				
4	04-001		192.000			192.000

1	2	3	4	5	6	7
		<b>Разом за главою № 4</b>	192.000			192.000
		<b>Глава 5. Об'єкти транспортного господарства і зв'язку</b>				
5	05-001		5040.000			5040.000
		<b>Разом за главою № 5</b>	5040.000			5040.000
		<b>Глава 6. Зовнішні мережі і споруди водопостачання, каналізації, тепlopостачання та газопостачання</b>				
6	06-001		464.750			464.750
		<b>Разом за главою № 6</b>	464.750			464.750
		<b>Глава 7. Благоустрій та озеленення території</b>				
7	07-001				5.000	5.000
		<b>Разом за главою № 7</b>			5.000	5.000
		<b>Разом за главами № 1 - 7</b>	25180.471	129.926	9.600	25319.997
		<b>Глава 8. Тимчасові будівлі і споруди</b>				
8	Розрахунок №2 (Додаток 8, Настанова п.25)	Кошти на зведення та розбирання тимчасових будівель і споруд виробничого та допоміжного призначення, передбачених даним проектом (робочим проектом)	553.971			553.971
		<b>Разом за главою № 8</b>	553.971			553.971
		в т.ч. зворотні суми				83.096
		<b>Разом за главами № 1 - 8</b>	25734.442	129.926	9.600	25873.968
		в т.ч. зворотні суми				83.096
		<b>Глава 9. Інші роботи та витрати</b>				
9	Розрахунок №3 (Додаток 8, Настанова п.26)	Кошти на виконання будівельних робіт у зимовий період	154.406			154.406

10	Розрахунок №4 (Додаток 8, Настанова п.27)	Кошти на виконання будівельних робіт у літній період	69.482			69.482	82	
		<b>Разом за главою № 9</b>	223.888			223.888		
		<b>Разом за главами № 1 - 9</b>	25958.330	129.926	9.600	26097.856		
		<b>Глава 10. Утримання служб замовника та інжинірингові послуги</b>						
11	Додаток 8, Настанова п.45	Кошти на утримання служби замовника - 1 %			260.979	260.979		
12	Додаток 8, Настанова п.46	Кошти на здійснення технічного нагляду - 1,5 %			389.519	389.519		
		<b>Разом за главою № 10</b>			650.498	650.498		
		<b>Разом за главами № 1 - 10</b>	25958.330	129.926	660.098	26748.354		
		<b>Глава 12. Проектні, вишукувальні роботи, експертиза та авторський нагляд</b>						

1	2	3	4	5	6	7
13	Додаток 8, Настанова п.53	Вартість проектних робіт			1619.021	1619.021
14	Додаток 8, Настанова п.55	Витрати на експертизу проекту будівництва за всіма напрямками (клас наслідків (відповідальності) СС2, середні наслідки)			25.543	25.543
		<b>Разом за главою № 12</b>			1644.564	1644.564
		<b>Разом за главами № 1 - 12</b>	25958.330	129.926	2304.662	28392.918
		в т.ч. зворотні суми				83.096
	Розрахунок №5 (Додаток 8, Настанова )	Кошторисний прибуток (П) (18,11 грн./люд.-г.)	3777.071			3777.071
	Розрахунок №6 (Додаток 8, Настанова )	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ) (5,06 грн./люд.-г.)			1407.230	1407.230
	Настанова, Дод.28 Табл.2 п.1	Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва (Р)	1557.500	7.796	138.280	1703.576
		<b>Разом</b>	31292.901	137.722	3850.172	35280.795
		Податок на додану вартість			7056.159	7056.159
		<b>Всього по зведеному кошторисному розрахунку</b>	31292.901	137.722	10906.331	42336.954
		Зворотні суми	99.715			99.715

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірів

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

#### 4.2 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки на основі мереж Байеса

Як видно із розрахунків, загальна кошторисна вартість будівництва становить 42336.954 тис. грн., а величина ризиків закладається в розмірі 1703.576 тис. грн., що становить 4%. Це значна сума, і не враховує усі фактори ризиків. При застосуванні розробленої експертно-моделюючої системи величина ризиків може бути зменшена до 1%. Результати порівняння наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняльна таблиця розрахунку ризиків

Показник	Розрахунок Ризику відповідно до Настанови визначення вартості будівництва	Запропонована методика врахування ризиків
Величина ризику	1703.576	419,13
Загальна кошторисна вартість будівництва	42336.954	41052,51

Економічний ефект становить 1284,44 тис. грн.

#### Висновки до розділу 4

В даному розділі виконано техніко-економічне обґрунтування застосування розробленої експертно-моделюючої системи прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків.

Розроблений зведений кошторисний розрахунок за допомогою програмного комплексу Будівельні технології. В кошторисних документах розрахована величина ризику усіх учасників будівництва, що становить 1703.576, що в чотири рази більше величини ризиків, за розробленою методикою - 419,13 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі виконана оцінка та оптимізації систем управління ризиками в будівництві із застосуванням сучасних технологій, зокрема BIM-технологій, штучного інтелекту та систем підтримки прийняття рішень.

Проведений аналіз існуючих методів оцінки ризиків в будівництві та виявлені їх недоліків.

Розроблена модель байєсівської мережі для оцінки ризиків у будівельних проектах.

Проведена апробація розробленої моделі на реальних даних будівельних проектів.

Визначена ефективність використання байєсівських мереж для зменшення невизначеності та покращення процесу прийняття рішень.

В роботі активно застосовуються BIM-технології для створення віртуальних моделей будівель, що дозволяє підвищити точність планування та зменшити кількість помилок на етапі будівництва. Штучний інтелект використовувався для аналізу великих обсягів даних, що забезпечує більш точні прогнози щодо можливих ризиків та дозволяє оптимізувати ресурси.

Система підтримки прийняття рішень, розроблена на базі байєсівських мереж, дозволяє ефективніше управляти будівельними проектами, зменшуючи невизначеність та підвищуючи якість прийнятих рішень. Це досягається завдяки моделюванню можливих сценаріїв розвитку подій та оцінці їх ймовірності.

Застосування мереж Байєса у будівельних проектах дозволило досягти значного економічного ефекту. Зокрема, вдалося зменшити витрати на 1%, що в абсолютних цифрах становить приблизно 1284,44 тис. гривень. Це стало можливим завдяки точнішому прогнозуванню ризиків та оптимізації використання ресурсів та застосування BIM технологій при розробці проекту.

Розроблена система підтримки прийняття рішень в будівництві показала високу ефективність на всіх етапах проекту – від планування до завершення будівництва. Вона дозволяє швидко реагувати на зміни умов, вчасно виявляти та усувати проблеми, що виникають, а також оптимізувати процеси управління проектом.

Для подальшої оптимізації розробки систем підтримки прийняття рішень у будівництві рекомендується:

1. Вдосконалити алгоритми машинного навчання для покращення точності прогнозів.
2. Інтегрувати додаткові джерела даних, такі як дані з датчиків, сенсорів, дронів для підвищення об'єктивності аналізу.
3. Розширити можливості системи щодо автоматизації процесів управління ресурсами та логістикою.
4. Проводити регулярне навчання персоналу щодо новітніх технологій та методик у сфері управління ризиками.

Робота демонструє важливість застосування сучасних технологій у будівельній галузі для підвищення ефективності та зниження ризиків. Впровадження ВІМ-технологій, ШІ та мереж Байєса сприяє більш точному та своєчасному прийняттю рішень, що, в свою чергу, покращує економічні показники проектів та зменшує ризики.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А.С. Савченко, О. О. Синельніков. Методи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» Уклад. : К. : НАУ, 2017. 190 с.
2. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. укл. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. 264 с.
3. 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.
4. <https://kse.ua/about-the-school/news/zagalna-suma-pryamih-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-syagaye-151-2-mlrd-otsinka-standom-na-1-veresnya-2023-roku>
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. Ar. Gayatri Patil, Applications of Artificial Intelligence in Construction, 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, 595602 (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, 210213 (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, 13331340 (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), 207215 (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), 221223 (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)).
  - 15.Закон Європейського союзу щодо імплементації штучного інтелекту Artificial intelligence act  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS\\_BRI\(2021\)698792\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS_BRI(2021)698792_EN.pdf)
  - 16.Навчальні матеріали: "Applying Artificial Intelligence to BIM Workflows" (<https://www.autodesk.com/research/publications/applying-ai-bim>)
  - 17.Навчальні матеріали: "Machine Learning in SketchUp with SketchUp Labs" (<https://www.sketchup.com/learn/videos/1492>)



18. Навчальні матеріали: "Artificial Intelligence in Construction". Режим доступу: (<https://group.skanska.com/who-we-are/innovation/artificial-intelligence/>)
19. Edge AI Studios <https://www.ti.com/technologies/edge-ai.html>
20. Smith, J., & Jones, A. (2018). "Building the Future: Applications of Artificial Intelligence in Construction Management." *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(4), 04018012.
21. Wang, L., & Dunston, P. (2019). "Implementation of Building Information Modeling (BIM) in construction: A review." *Automation in Construction*, 103, 103028.
22. Lee, V., & Dulin, R. (2020). "Machine Learning Applications in Construction Project Scheduling: A Systematic Review." *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(4), 04020030.
23. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: розпорядження КМУ від 2 грудня 2020 р. № 1556-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1556-2020-%D1%80> (дата звернення 20.12.2020).
24. КНУ. Настанова з визначення вартості будівництва. [Чинний від 2021-11-01].
25. О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк. Кошторисна справа в будівництві [Електронний ресурс]. Вінниця: ВНТУ, 2024. 91 с.
26. Р. С. Осипенко, О. Г. Лялюк. Імплементация штучного інтелекту в будівництві. Енергоефективність в галузях економіки України 2023: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції., м. Вінниця, 21-23 листопада 2023 р. Вінниця, 2023. С.248-251. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/pegeuegeu2023/paper/view/19369>
27. Р. С. Осипенко, О. Г. Лялюк. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ В БУДІВНИЦТВІ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. 53-а Всеукраїнська науково-технічна

конференція підрозділів ВНТУ.. м. Вінниця, 21- 23 березень 2024 р. С. 1492-1494 [Електронний ресурс]. Режим доступу  
<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntucatalogview83214532726-1> С.1482-1486.

- 28.Р.С. Осипенко, О. Г. Лялюк. Особливості імплементції штучного інтелекту в будівництві. „Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”. - Вінниця: Універсам - Вінниця, № 2, 2023. С.172-176.
- 29.Р. С. Осипенко, О. Г. Лялюк, Д.О. Мельник. СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА. „Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”. - Вінниця: Універсам - Вінниця, № 1, 2024. С.169-176.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА  
НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра БМГА, ФБЦЕІ  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**


Оригінальність 88,3 % Схожість 11,7 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

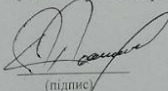
1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

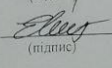
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Блащук Н.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Осипенко Р.С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Лялюк О.Г.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

## ДОДАТОК Б Відомість аркушів графічної частини

Номер листа	Зміст листа
Лист №1	Актуальність теми, об'єкт дослідження, предмет дослідження, мета роботи, новизна
Лист №2	Структурна схема проекту на базі мережі Байєса
Лист №3	Матриця ризиків залежностей факторів ризику
Лист №4	Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення будівельних ризиків при використанні ВІМ технологій
Лист №5	Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення експлуатаційних ризиків при використанні ВІМ технологій
Лист №6	Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення проектних ризиків при використанні ВІМ технологій
Лист №7	Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення тривалості виконання проекту при використанні ВІМ технологій
Лист №8	Графік розподілу ймовірностей: Ймовірнісна частина та кумулятивна частина розрахунків
Лист №9	Висновки

## ДОДАТОК В Акт впровадження

*Про впровадження результатів магістерської роботи  
Інженера з технічного нагляду відділу обладнання  
Романа Осипенко в практичну діяльність*

ЗАТВЕРДЖУЮ  
В.о. директора Філії  
«Дирекція з будівництва  
Дністровської ГАЕС»  
Анатолій ЖУК



АКТ  
впровадження результатів магістерської роботи  
Осипенко Роман Сергійович  
у практичну діяльність Філії «Дирекція з будівництва Дністровської ГАЕС»

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Осипенко Р.С. на тему: «Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві» впроваджені у діяльність підприємства: Філія «Дирекція з будівництва Дністровської ГАЕС».

Розроблена модель прийняття рішення на основі байєсівських мереж забезпечує потужний інструмент для аналізу ймовірнісних взаємозв'язків між різними параметрами проекту, дозволяючи враховувати невизначеності та ризики. Впровадження запропонованої моделі підтримки прийняття рішень в будівництві дозволить зменшити кінцеву вартість проекту за умови поліпшення якості проектних робіт.

З повагою  
в.о. директора

Анатолій ЖУК

**АКТУАЛЬНІСТЬ.** В контексті національної проблеми зі зменшення дози опромінення від природної радіоактивності, важливим є розробка комплексної програми для зниження радіаційної небезпеки в населених пунктах, розташованих на радіаційно небезпечних територіях. Управління радіаційною безпекою є ключовим аспектом виробничої діяльності в галузі будівництва. Цей процес включає такі взаємопов'язані формалізовані блоки: моніторинг радіаційної небезпеки; підготовка та розробка організаційно-технологічних рішень та управлінських рішень; впровадження таких рішень на етапах проектування, будівництва та експлуатації житлово-цивільних і промислових об'єктів. Нормативні документи та теоретичні дослідження спрямовують будівельні організації та установи на необхідну реалізацію ефективної системи контролю радіаційної безпеки та управління проектами, які пов'язані з розробкою і впровадженням заходів зі зниження рівня іонізуючого випромінювання природних радіонуклідів.

Потреба у розробці Північної ділянки Новопавлівського родовища граніту пов'язана з підвищенням попиту в регіоні та в країні на щебінь та камінь бутовий.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є покращити радіаційну якість будівельної продукції та підвищити ефективність захисту приміщень від радіації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- встановити залежності радіаційних характеристик об'єктів житлово-цивільного та промислового призначення від регламентованих радіаційних параметрів сировини, матеріалів та повітря приміщень;
- розробити ієрархічну систему математичних моделей з урахуванням геоморфологічних характеристик рельєфу, з урахуванням об'ємно-планувальних рішень, з урахуванням типу будівельного матеріалу на основі нечіткої логіки та з враховуванням впливу кількісних і якісних факторів;
- створити експертно-моделюючу систему застосування будівельних матеріалів з різним вмістом природних радіонуклідів.

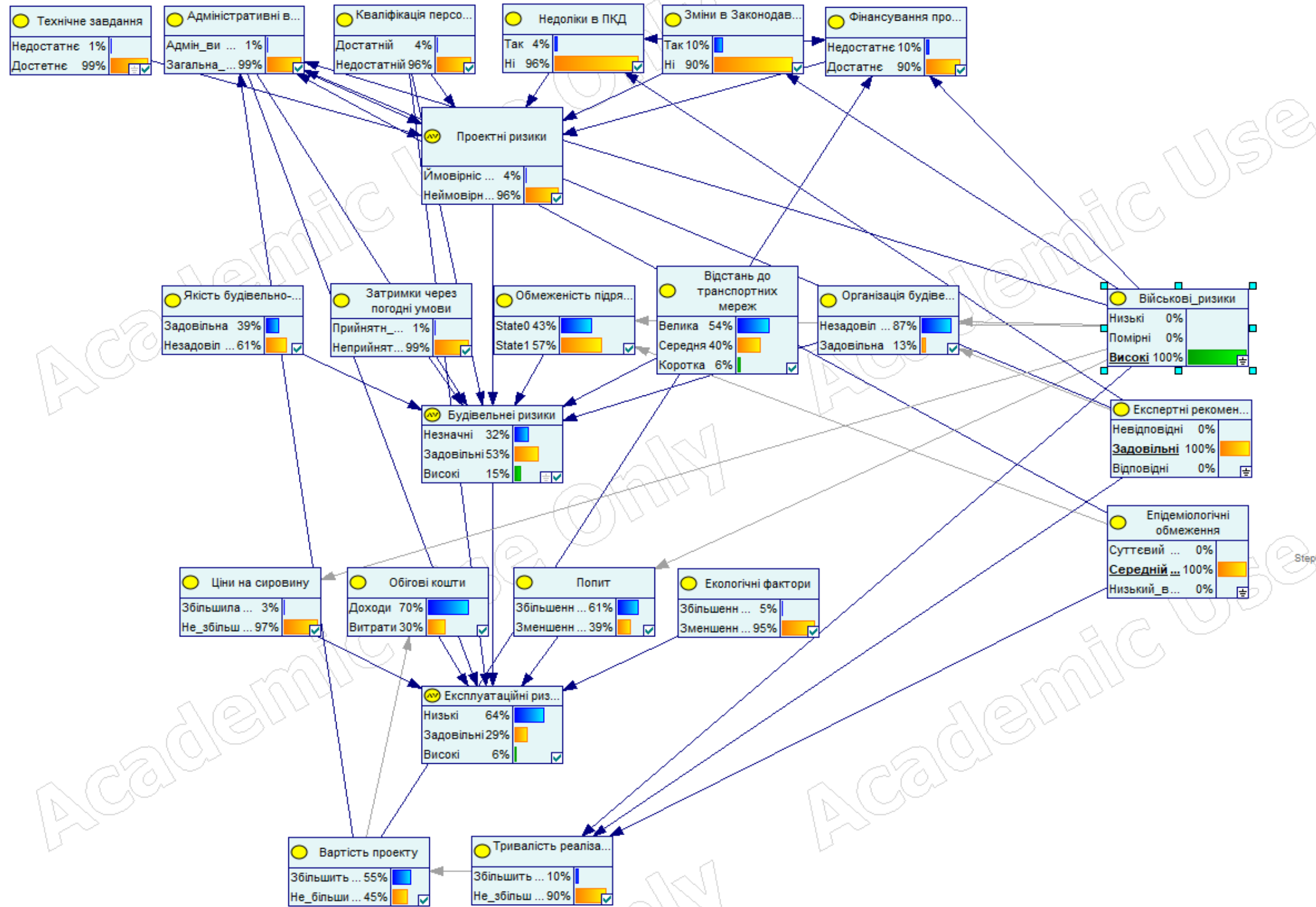
**Об'єкт дослідження** - експертно-моделююча система застосування будівельних матеріалів з різним вмістом природних радіонуклідів.

**Предмет дослідження** – система прийняття рішень по зменшенню ризиків опромінення

**Новизна:**

- отримано подальший розвиток у визначенні залежності регламентованих радіаційних параметрів будівельних об'єктів від багатофакторних показників на радіаційно небезпечних територіях України
- розроблені моделі управління по зменшенню радіаційної небезпеки на базі нечіткої логіки з урахуванням геоморфологічних характеристик рельєфу, з урахуванням об'ємно-планувальних рішень, з урахуванням типу будівельного матеріалу ;
- вперше створена експертно-моделююча система застосування будівельних матеріалів з різним вмістом природних радіонуклідів, що дає можливість диференційовано керувати проектами радіаційного захисту будівель на основі доступної експертної інформації.

# Структурна схема проекту на базі мережі Байєса





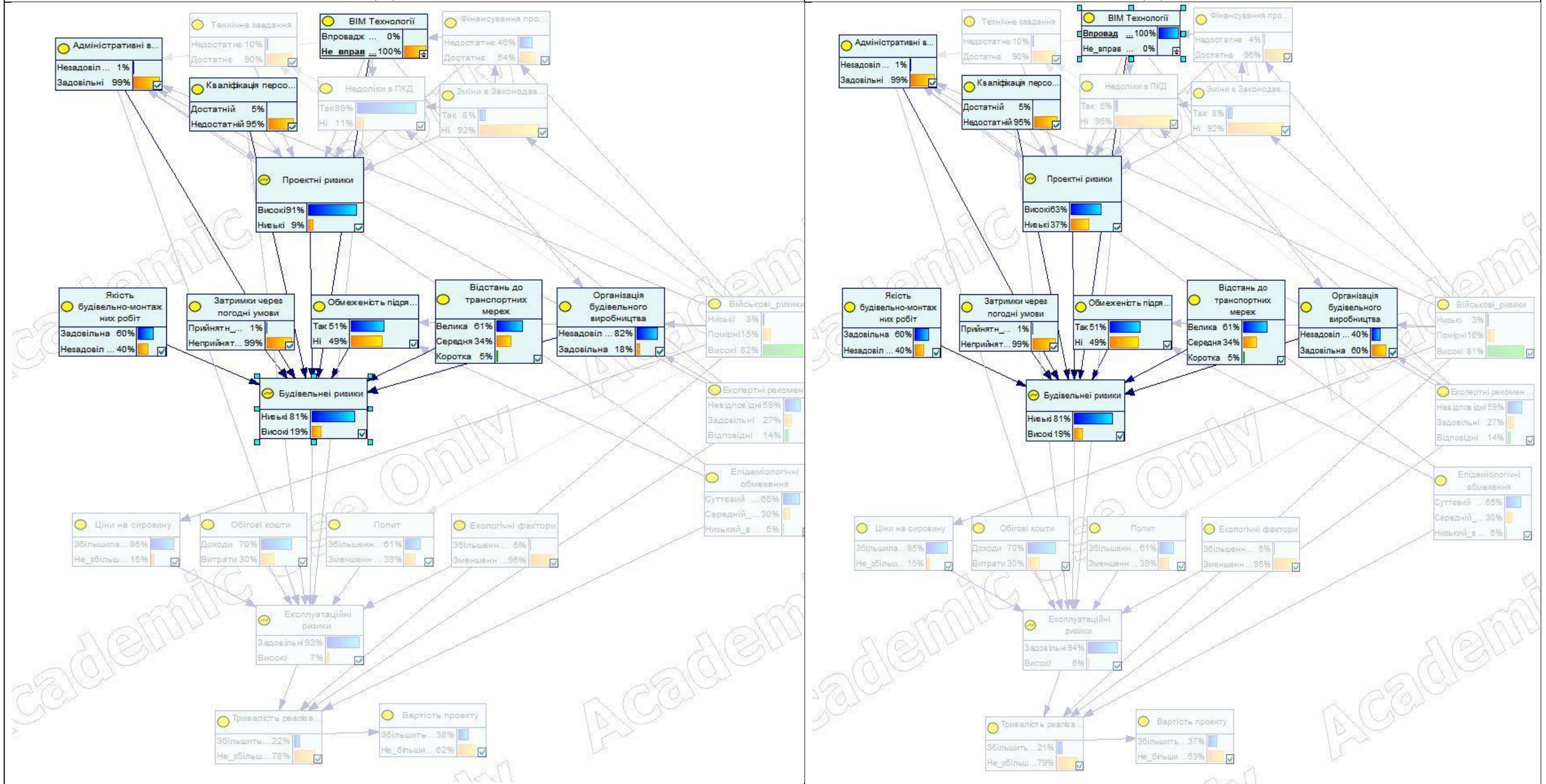




Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення будівельних ризиків при використанні BIM технологій

$P(B)=0.01$

$P(B)=0.99$

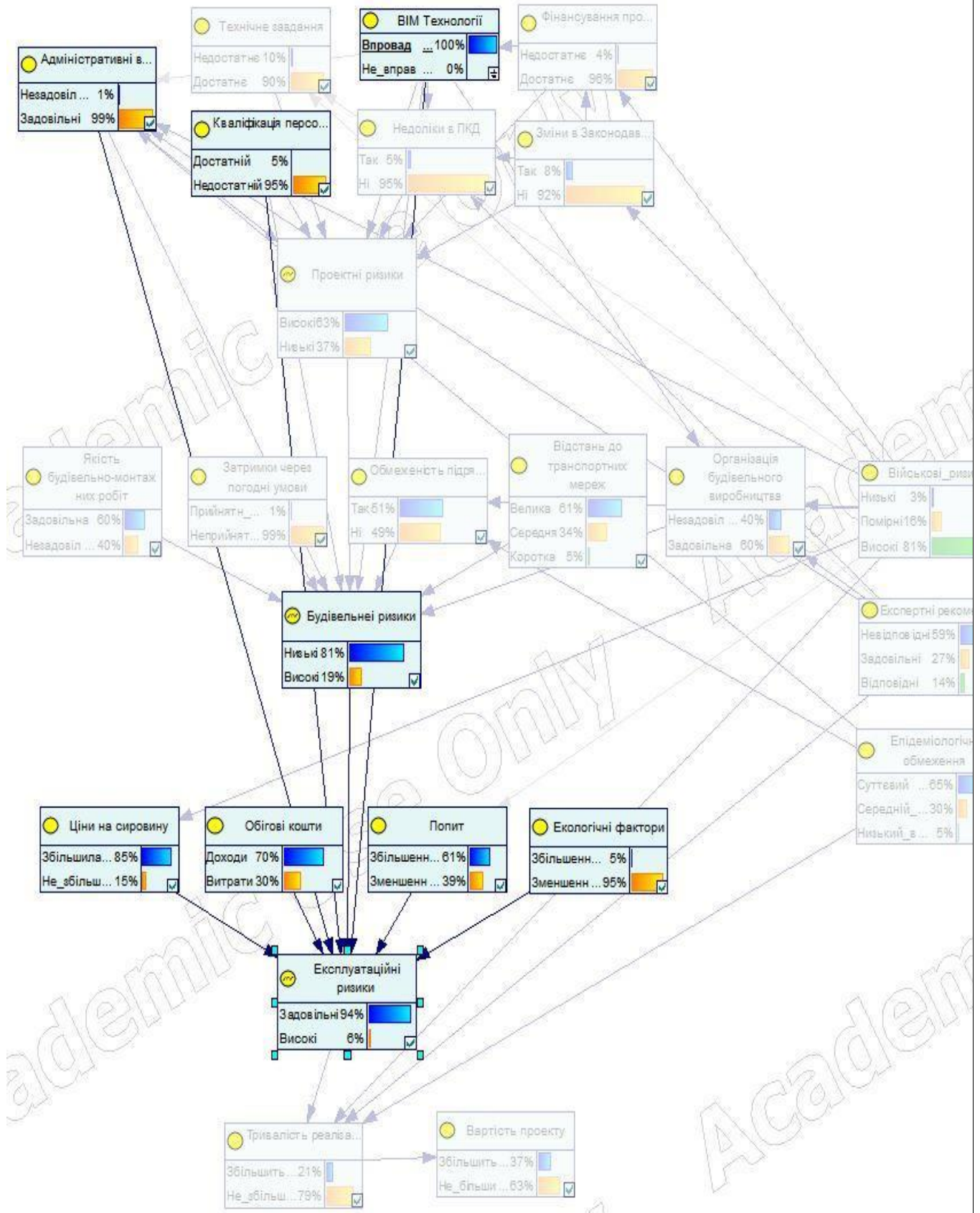
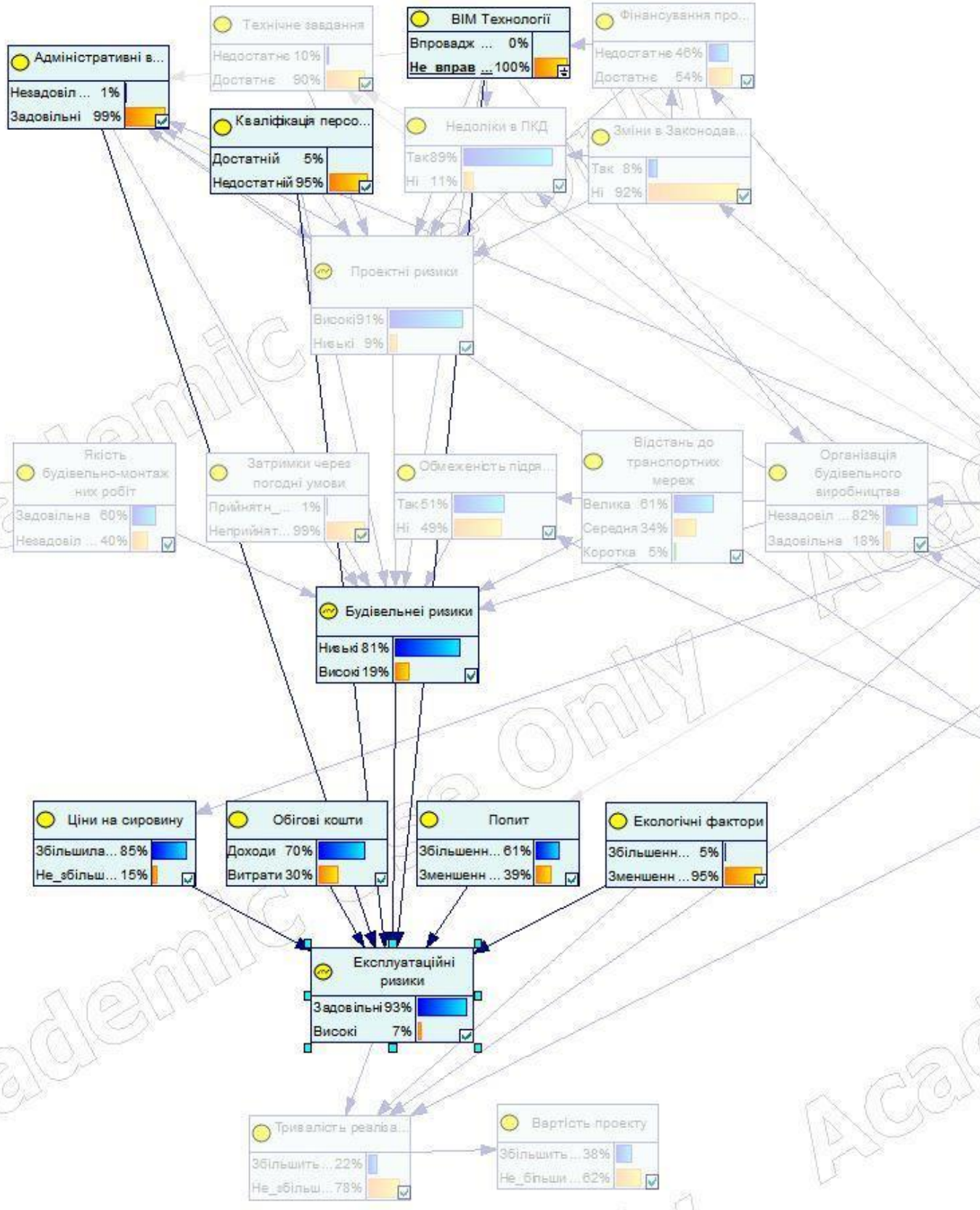




Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення експлуатаційних ризиків при використанні BIM технологій

$P(B)=0.01$

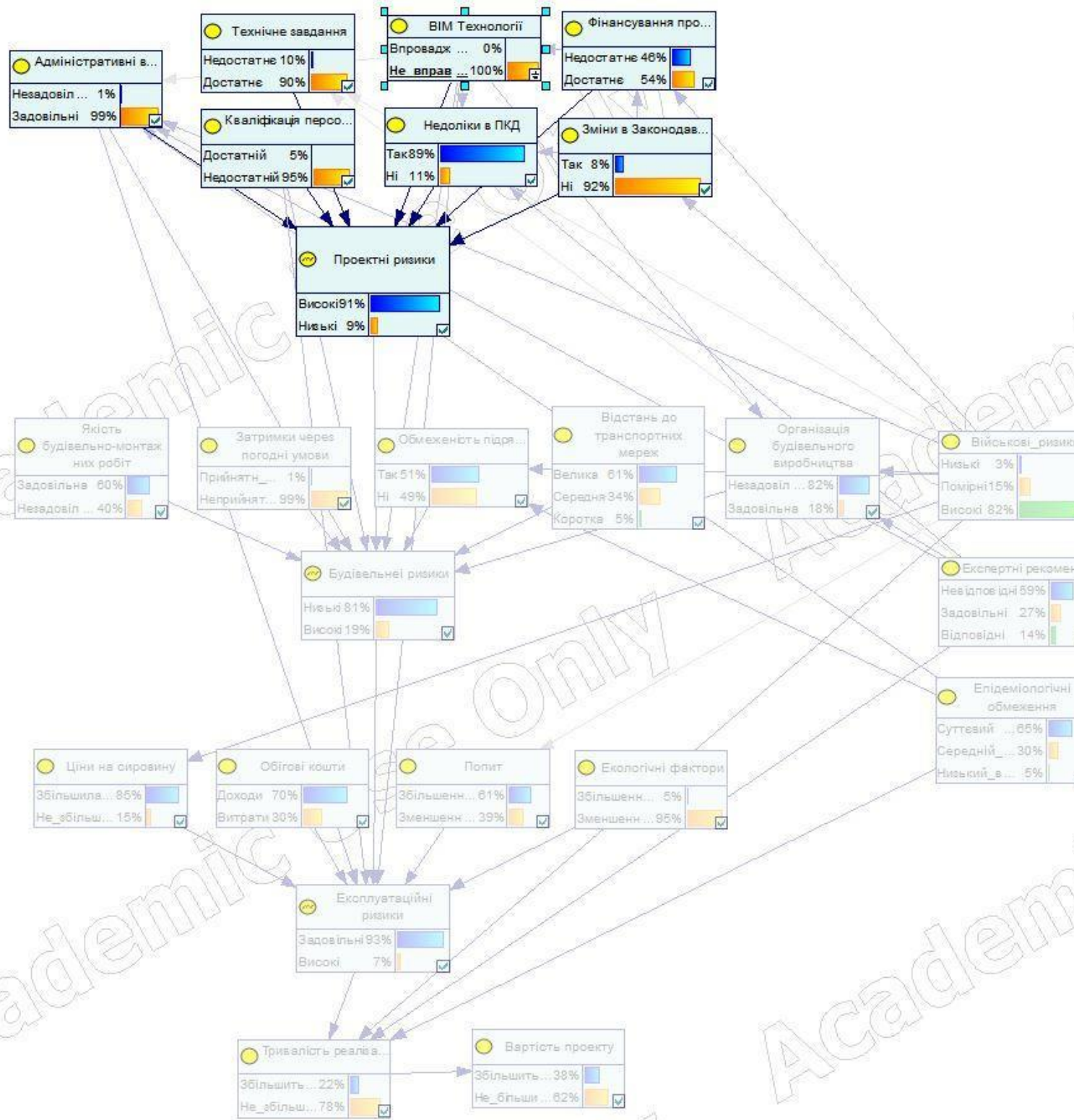
$P(B)=0.99$



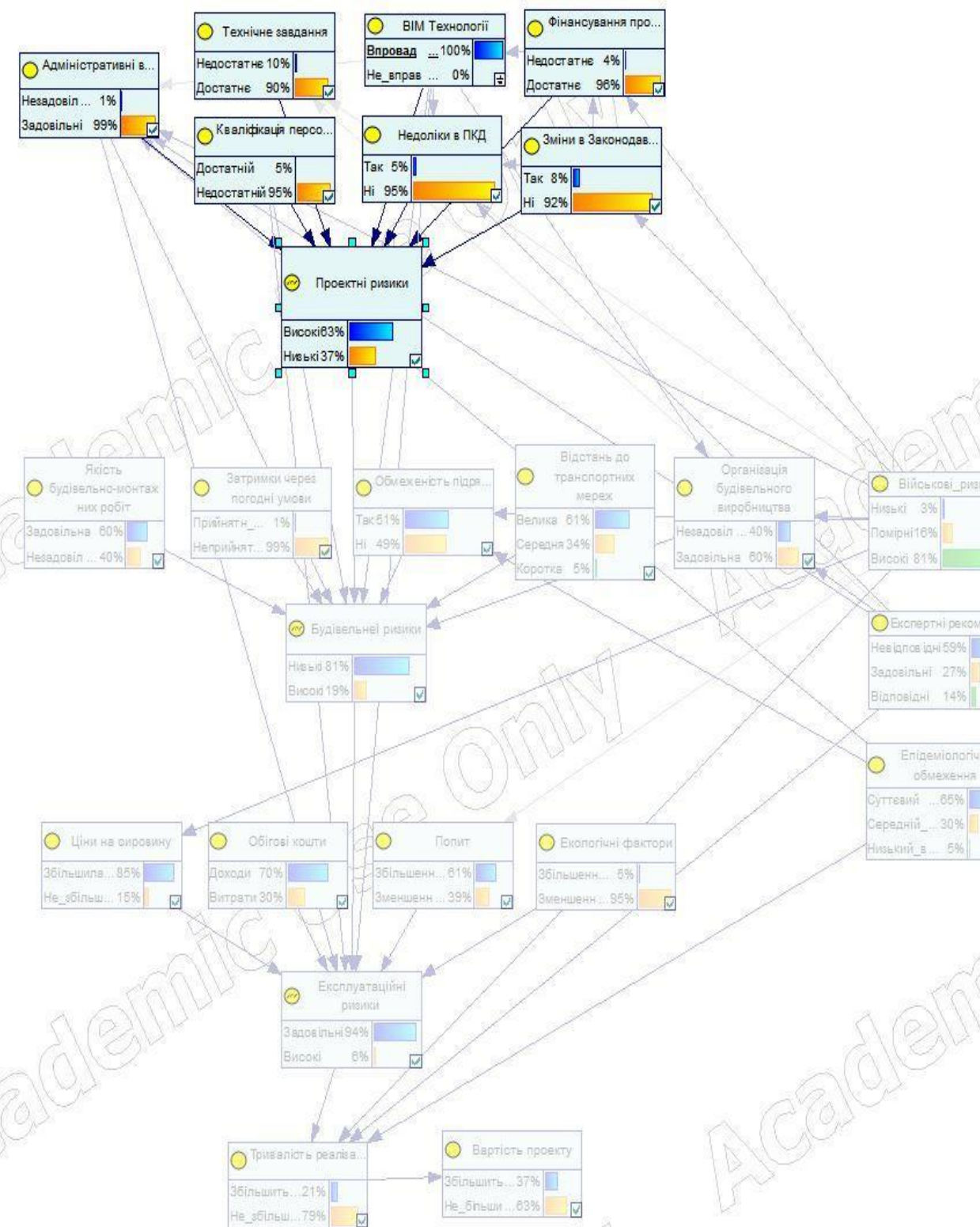


Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення проектних ризиків при використанні BIM технологій

$P(B)=0.01$



$P(B)=0.99$

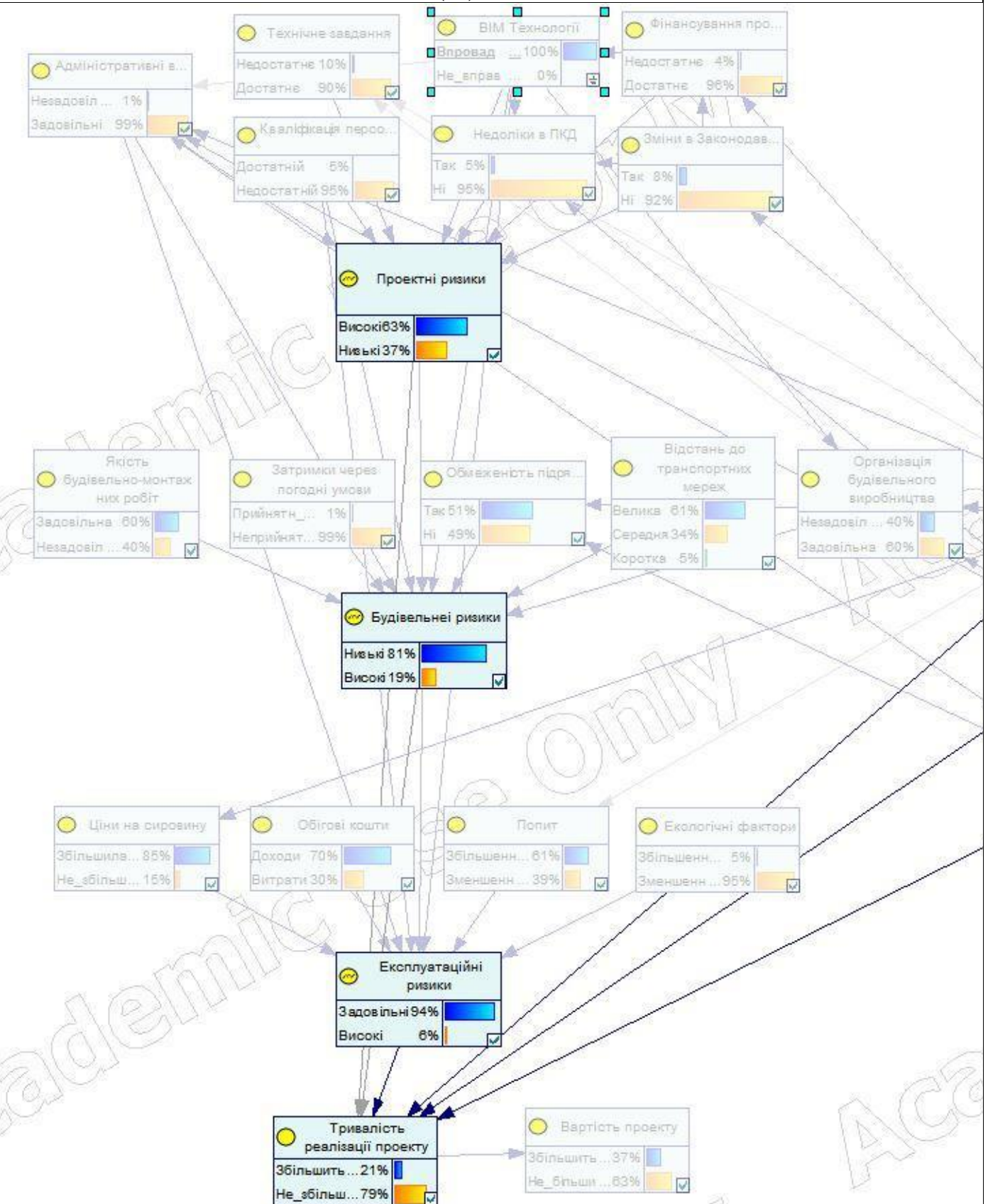
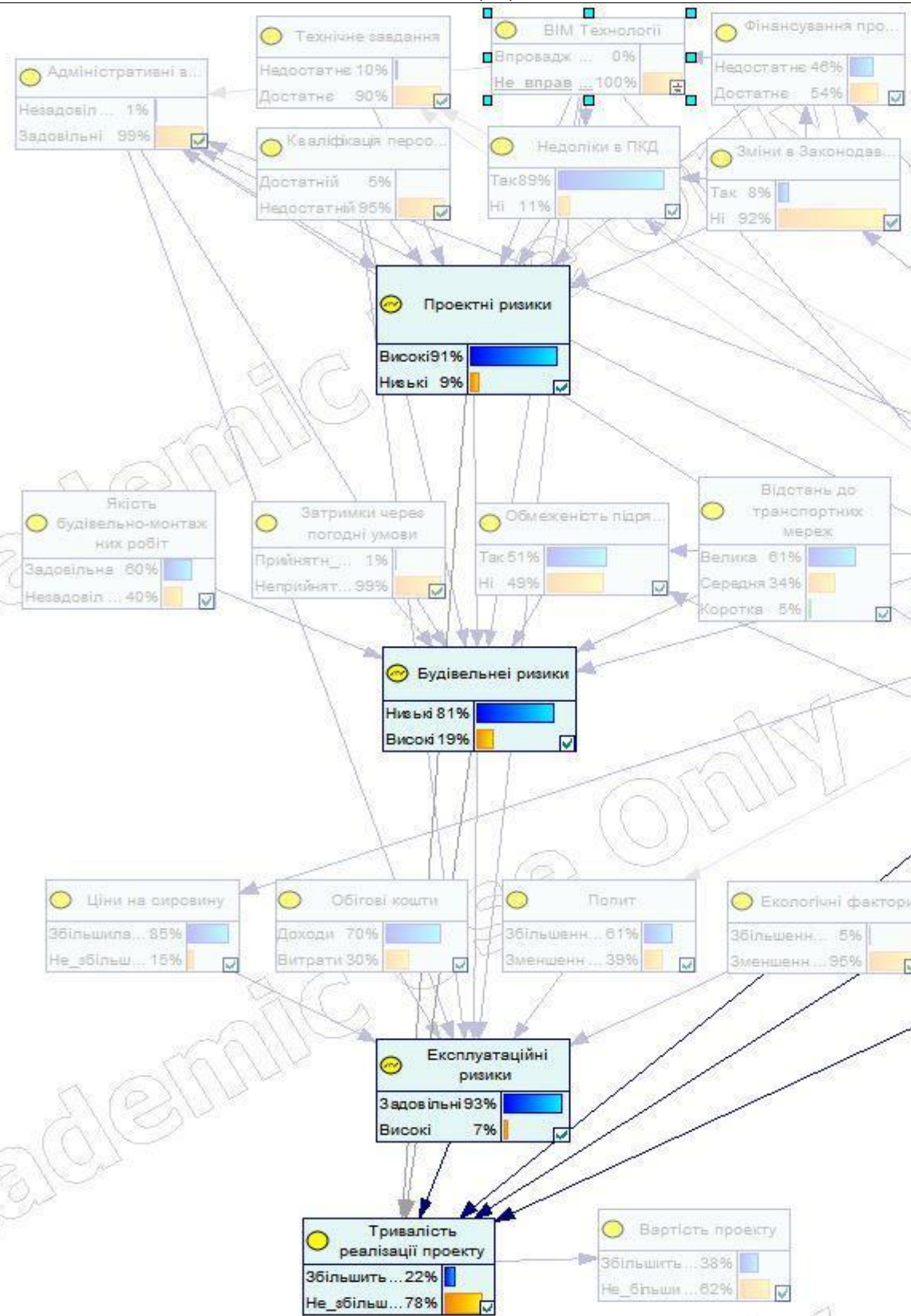




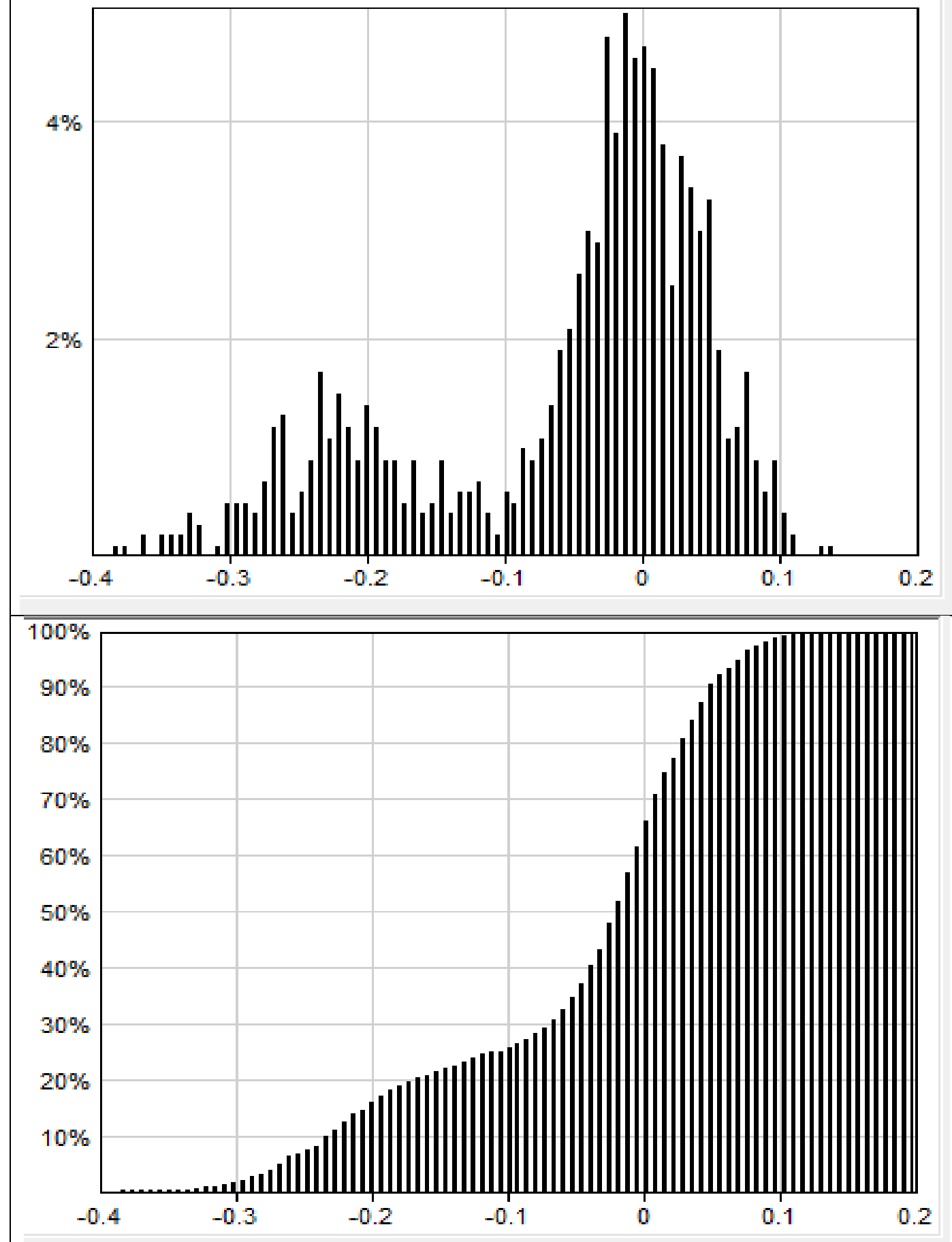
Порівняння структурних схем проекту на базі мережі Байєса для визначення умовної ймовірності збільшення тривалості виконання проекту при використанні BIM технологій

$P(V)=0.01$

$P(V)=0.99$



Графік розподілу ймовірностей:  
Ймовірнісна частина та кумулятивна частина розрахунків



## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень розроблено експертну систему підтримки прийняття рішень, проведено аналіз та оптимізацію процесів побудови експертних систем на базі мереж Байєса.

Наукова новизна

- Дістало подальший розвиток встановлення залежності ризиків в будівництві від багатофакторних показників;
- Розроблені моделі управління організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків на базі мереж Байєса на проектному, будівельному та експлуатаційних рівнях;
- Вперше створена експертно-моделююча система прийняття ефективних рішень при виборі організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків, що дозволяє управляти проектами диференційовано в залежності від доступної експертної інформації.

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 є важливою складовою для оцінки та оптимізації систем управління ризиками в будівництві.



ВДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

студента Осипенко Романа Сергійовича

на тему: «Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві»

Актуальність теми зв'язана з управлінням ризиками, що допомагає виявити та вирішити потенційні проблеми, зв'язані із якістю будівельних робіт та строками виконання проектів. Тема роботи відповідає виданому завданню. Оцінка та оптимізація систем управління ризиками дозволить мінімізувати фінансові втрати через зупинку робіт, пошкодження майна, компенсацію постраждалим. При виконанні кожного розділу студент проявив самостійність, ерудицію, показав достатній рівень теоретичної та практичної підготовки, знання та вміння аналізувати фахову, нормативну літературу. Самостійно з урахуванням сучасних вимог розробив експертно-моделюючу систему прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків в будівництві, яка дозволить на передпроектній стадії передбачити великий спектр факторів ризиків і зменшити вартість будівництва. Результати роботи впроваджені на підприємстві Філія «Дирекція з будівництва Дністровської ГАЕС». Результати апробовані: опубліковані матеріали доповіді, 21-23 листопада 2023 р., у міжнародній науково-практичній «Енергоефективність в галузях економіки України» і на 53-ій Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ, 21-23 березень 2024. Опубліковані дві статті в журналі «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». Студент своєчасно виконував розділи магістерської роботи відповідно календарного плану. Недоліки роботи – є незначні помилки в оформленні роботи, можна було б більше розглянути факторів впливу на величину ризиків.

Висновки: якість підготовки студента відповідає вимогам освітньої програми підготовки «Промислове та цивільне будівництво» за спеціальністю 192-«Будівництво та цивільна інженерія» і Осипенко Роман Сергійович заслуговує присвоєння ступеня магістра та на оцінку «А».

Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(посідає науковий ступінь, ачене звання)



О.Г. Лялюк

(ініціали, прізвище)

## ВІДГУК ОПОНЕНТА

на магістерську кваліфікаційну роботу

студента Осипенко Р. С.

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему Оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві

Магістерська кваліфікаційна робота, яку подано на опонування, виконана у повному обсязі та у встановлений термін на кафедрі будівництва, міського господарства та архітектури. Робота відповідає затвердженій темі та завданню. Тема є актуальною і присвячена новим технологіям, таким як BIM, штучний інтелект, що створює нові можливості для управління ризиками в будівництві. Ефективна оцінка та оптимізація систем управління ризиками в будівництві забезпечить безпеку, економічну стабільність, відповідність законодавству, якість проєктів, екологічну стійкість та конкурентоспроможність будівельної компанії. Акт впровадження даної методики є на підприємстві Філія «Дирекція з будівництва Дністровської ГАЕС».

Матеріал роботи подано у розгорнутому та доступному для розуміння вигляді, повністю відповідають встановленим методичним вимогам. Обгрунтоване застосування експертно-модельної системи прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню ризиків в будівництві. Для експертних систем будівництва запропонував застосування Байєсовських мереж, довів їхню здатність інтегрувати експертні знання з емпіричними даними, обробив імовірнісні міркування.

Виконання текстової частини пояснювальної записки, ілюстративних матеріалів графічної частини відповідає до стандартів та з дотриманням усіх необхідних вимог.

До недоліків роботи можна віднести:

- при оцінці ризиків в будівництві застосування Байєсовських мереж варто було б комбінувати з іншими методами для отримання надійних кінцевих висновків;

- є незначні помилки в оформленні роботи.

Проте вказані недоліки не впливають на позитивне враження від роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота в цілому виконана на високому рівні та у відповідності з завданням із дотриманням всіх вимог. Робота заслуговує оцінки А, а її автор Осипенко Роман Сергійович присвоєння кваліфікації «магістра будівництва» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

**Опонент**

Доцент кафедри ТЕ, к.т.н.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)



Степанова Н.Д.  
(ініціали, прізвище)