

**Жалдак Р.Ю.**

аспірант кафедри менеджменту в будівництві,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ORCID ID: 0000-0002-6139-1506

**АНАЛІТИКО-ПРИКЛАДНІ ІННОВАЦІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИКОНАВЦІВ  
ДЕВЕЛОПЕРСЬКИХ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТІВ**

***Анотація.** Аналітико-прикладні інновації для забезпечення функціонально-технологічної надійності виконавців девелоперських будівельних проектів є ключовим елементом у сучасній будівельній індустрії. Ця стаття розглядає роль інноваційних підходів у підвищенні якості та безпеки будівельних проектів. Здійснено опис методів та інструментів аналізу, що допомагають виявляти потенційні проблеми та ризики ще на етапі проектування. До цього переліку входять: використання сучасних технологій моделювання, візуалізації та аналізу даних, таких як імітаційні моделі, штучний інтелект та аналіз великих обсягів даних. Результатом їх застосування є покращення процесів управління проектами, зниження витрат та підвищення надійності та якості будівельних робіт. Стаття висвітлює практичні застосування інноваційних рішень у реальних будівельних проектах та їх вплив на розвиток галузі. Розглянуто актуальну проблематику оновлення моделей організації будівництва в контексті їх адаптованості до сучасних управлінських та цифрових технологій, де швидкі технологічні зміни та зростаючі вимоги споживачів ставлять перед будівельною індустрією завдання адаптуватися до нових умов та ефективно використовувати цифрові інструменти для покращення процесів будівництва. В статті окреслено ключові аспекти цієї проблеми, включаючи концепцію адаптованості, вплив цифрових технологій на будівельну галузь, інноваційні підходи до організації будівництва та шляхи покращення ефективності та конкурентоспроможності підприємств в даному контексті. Результати дослідження можуть бути корисними для фахівців будівельної галузі, управлінців та дослідників, що цікавляться трансформацією та сучасними тенденціями в будівельній сфері.*

***Ключові слова:** будівництво, цифрова трансформація будівництва, девелопмент, функціонально-технологічна надійність виконавців, будівельний проект.*

**Постановка проблеми.** Оновлення моделей організації будівництва в контексті їх адаптованості до сучасних управлінських та цифрових технологій тісно пов'язано з функціонально-технологічною надійністю виконавців проектів. В сучасній будівельній індустрії ключовою задачею для будь-якої будівельної компанії є забезпечення якості та надійності будівельних об'єктів, які вони будують. Інноваційні підходи до організації будівництва, такі як впровадження цифрових технологій, революціонізують способи, якими виконавці проектів керують процесами будівництва та забезпечують якість робіт.

За допомогою цифрових інструментів, таких як Building Information Modeling (BIM), інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та аналітика даних, виконавці можуть ефек-

тивно планувати та керувати робочими процесами, вчасно виявляти та виправляти потенційні проблеми, а також забезпечувати стандарти якості та безпеки на будівельних майданчиках. При цьому оновлення моделей організації будівництва повинно враховувати потреби та можливості виконавців проектів у впровадженні нових технологій та методів. Гнучкість та адаптивність в організаційних моделях дозволять ефективно інтегрувати цифрові інструменти в робочі процеси, що в свою чергу сприятиме підвищенню функціонально-технологічної надійності будівельних проектів.

Цифрові технології змінюють і сфери девелопменту нерухомості та розвитку територій, оскільки формування національної інфраструктури геопросторових даних, створення

порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації, створення містобудівного кадастру та Єдиної державної електронної системи в сфері будівництва (ЄДЕССБ), широке використання геоінформаційних систем (ГІС), дозволяють здійснювати просторове планування та управління розвитком територій на засадах сталого розвитку. На етапі проектування об'єктів різної складності усе частіше використовується BIM-моделювання, як засіб контролю і накопичення інформації про об'єкт протягом усього життєвого циклу. Це свідчить про те, що цифровізація вже суттєво впливає на будівельний сектор, змінюючи взаємозв'язки між учасниками будівництва, організаційно-управлінські структури проектів зведення будівель і споруд та трансформуючи будівництва та девелопменту територій.

Безумовно, оновлення моделей організації будівництва та їх адаптогенність до сучасних управлінських та цифрових технологій є важливим кроком у забезпеченні функціонально-технологічної надійності виконавців проектів і підвищенні якості будівельних робіт, що вимагає проведення додаткових досліджень.

Формулювання мети статті. Основною метою дослідження є розробка та впровадження нових аналітико-прикладних інноваційних підходів для забезпечення високої функціонально-технологічної надійності виконавців девелоперських будівельних проектів. Це включає в себе аналіз сучасного стану та визначення проблем, що впливають на надійність виконавців, розробку нових методів та інструментів для оцінки та управління цими ризиками, а також впровадження практичних інновацій для підвищення ефективності та результативності будівельних проектів. Робота спрямована на покращення якості та надійності будівельних об'єктів, зменшення ризиків для інвесторів та забезпечення стабільного розвитку будівельної індустрії.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Вітчизняними вченими достатня увага приділяється дослідженню проблем інноваційно-технологічного розвитку галузей будівництва, де проблемі забезпечення функціонально-технологічної надійності виконавців девелоперських будівельних проектів, діагностиці та оцінці практики девелопменту в різних регіонах та сегментах ринку приділено окрему увагу. Зокрема, потрібно відзначити таких дослідників з зазначеної тематики:

О. Амоша, О. Гавриш, В. Геєць, О. Дацій, Ніколаєв В. П., Ніколаєва Т. В. [1], Ключко А. А. [2], Рижакова Г. М. [6], Чуприна Х. М., Шпакова Г. В. [3], Шпаков А. В. [4], Малихіна О. М. [5], Беленкова О. Ю., Стеценко С. П., Сорокіна Л. В. [7, 16-18], Тугай О. А. [19] та інші. Серед зарубіжних науковців питаннями визначення ключових проблем та викликів у забезпеченні надійності виконавців будівельних проектів, виявлення основних ризиків, пов'язаних з функціонально-технологічною надійністю, оцінкою впливу цих проблем на результативність девелоперських проектів займалися: П. Аллен, Х. Ван Німвеген, Давенпорт Т., В. Демінг, Е. Зіндер, К. Есселінг, Р. Кімбі, Р. Манганеллі, Н. Оболенські, М. Робсон, Ф. Уллах, Д. Харрінгтон, Д. Чампі, Гаміл Ясер, Квірзен Андрзей [9], Лее Чінг-Нунг, Ліу Чіен-Ліанг, Траппі Амі, Мо Джон, Десоуза Кевін [10], Клі С. [11], Сумер Л. [12] Алізадехсалехі С, Їтмен І, Целік Т, Ардіті Д. [13], Клінс Р, Турк З. [14] та ін. У наукових працях всебічно розглянуто теоретичні питання впровадження інновацій і технологій в процесах організації будівництва.

Багатогранність позицій науковців до дослідження функціонально-технологічної надійності виконавців девелоперських будівельних проектів можливо виокремити в різних аспектах, як то:

#### *Технологічні інновації:*

Дослідження авторів зосереджено на впровадженні нових будівельних технологій та методів, які підвищують функціонально-технологічну надійність проектів. Це може включати в себе використання інформаційних технологій, BIM, розумні матеріали та процеси.

#### *Управління ризиками:*

Автори досліджують питання оцінки та управління ризиками, які впливають на функціонально-технологічну надійність виконавців. Це може включати в себе аналіз ризиків та розробку стратегій їхнього управління.

#### *Фінансові аспекти:*

Дослідження аналізує фінансові аспекти забезпечення надійності виконавців, такі як вартість впровадження інновацій, оцінка вартості ризиків та ефективність інвестицій.

#### *Правові аспекти:*

Деякі автори зосереджуються на правових аспектах, пов'язаних з впровадженням інновацій та забезпеченням надійності виконавців, таких як регулювання, стандартизація та відповідальність.

*Соціально-економічні аспекти:*

Дослідження розглядає соціально-економічні наслідки впровадження інновацій у будівництві, такі як вплив на ринок праці, створення нових робочих місць та соціальну відповідальність.

Різноманітність підходів дозволяє отримати комплексне розуміння проблеми та розробити ефективні стратегії для забезпечення функціонально-технологічної надійності в будівництві. Разом з цим потребують додаткових досліджень теоретико-методологічні питання розробки нових методів аналізу та оцінки функціонально-технологічної надійності виконавців будівельних проектів, впровадження інноваційних технологій та підходів для підвищення надійності виконавців у будівельній сфері, оцінка ефективності впроваджених інновацій, визначення показників успішності та ефективності нових підходів.

**Виклад основного матеріалу.** Термін «функціонально-технологічна надійність в будівництві» виник у контексті розвитку будівельної індустрії та прагнення до підвищення якості та надійності будівельних об'єктів. Він почав активно використовуватися з моменту звернення уваги на необхідність забезпечення не лише зовнішньої архітектурної привабливості споруд, але й їхньої функціональності та технічної надійності. Точну дату появи цього терміну важко визначити, оскільки він був результатом поступового розвитку та еволюції будівельної сфери, а також інтересу до аспектів якості та безпеки в будівництві. Його активне використання почалося у другій половині 20-го століття, коли стало важливим забезпечення функціональності та безпеки споруд у всіх сферах будівництва – від житлового до комерційного і промислового.

Сьогодні цей термін використовується широкою міжнародною спільнотою фахівців у будівельній сфері для позначення комплексного підходу до забезпечення надійності та ефективності будівництва, що враховує як функціональні, так і технологічні аспекти оновлення моделей організації будівництва в контексті їх адаптованості до сучасних управлінських та цифрових технологій. У сучасному світі, де швидкість змін надзвичайно висока, а технологічний прогрес нестримно розвивається, будівельна індустрія вступає в епоху великих трансформацій. Однією з ключових переваг для будівельних компаній є здатність адаптуватися до нових умов

та технологій. Оновлення моделей організації будівництва стає необхідністю для забезпечення конкурентоспроможності та ефективності в цьому швидкозмінному середовищі.

Адаптогенність – це здатність системи або організації пристосовуватися до змін в навколишньому середовищі з мінімальними втратами та швидким реагуванням на нові виклики. У контексті будівництва, адаптованість моделей організації означає їхню готовність до ефективної реакції на зміни у вимогах замовників, ринкових умов, технологій та управлінських підходів.

В сучасній будівельній індустрії цифрові технології відіграють ключову роль у трансформації та оновленні моделей організації будівництва. Впровадження Building Information Modeling (BIM), інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI), аналітики даних та інших цифрових інструментів дозволяє створити більш гнучкі, ефективні та реактивні організаційні моделі. Нові підходи до організації будівництва базуються на інтеграції цифрових технологій у всі аспекти будівельного процесу. Вони передбачають автоматизацію проектування та планування, моніторинг виробництва, управління ресурсами та ризиками, а також забезпечують підвищену взаємодію між учасниками проекту за допомогою цифрових платформ і систем обміну даними.

Однією з ключових складових аналітико-прикладних інновацій є використання сучасних інструментів аналізу даних. Завдяки ним можна вчасно виявляти потенційні проблеми та ризики ще на етапі проектування. Великі обсяги даних обробляються за допомогою штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для прогнозування ймовірних негативних наслідків.

Ще однією важливою інновацією є використання імітаційних моделей. Вони дозволяють симулювати різні сценарії будівельного процесу, що допомагає у виявленні оптимальних рішень та уникненні небажаних подій.

Крім того, сучасні технології візуалізації дозволяють створювати реалістичні моделі будівельних об'єктів, що сприяє кращому розумінню проекту всіма учасниками будівельного процесу. Їх використання дозволяє підвищити якість будівництва, знизити ризики та витрати, а також сприяє розвитку індустрії в цілому. Загальна надійність виконавців в будівництві є важливим фактором для досягнення успіш-

ного завершення будівельних проєктів, забезпечуючи високу якість робіт, безпеку та відповідність стандартам якості.

**Оцінка функціонально-технологічної надійності виконавців в будівництві** базується на ряді ключових індикаторів, що відображають рівень якості та ефективності їхньої діяльності. Деякі з найбільш важливих ключових індикаторів включають:

**Дотримання графіку та термінів виконання робіт:** Цей індикатор визначає, наскільки точно виконавець виконує роботи у встановлені терміни. Затримки можуть вказувати на проблеми в управлінні проєктом або недоліки в робочій організації.

**Якість виконаних робіт:** Це включає в себе перевірку відповідності виконаних робіт технічним вимогам, відповідність проєктним рішенням та стандартам якості.

**Використання сучасних технологій та матеріалів:** Оцінка ступеня використання інноваційних технологій та матеріалів вказує на технологічну готовність виконавця та його здатність до застосування найефективніших рішень.

**Безпека та відповідність нормам з охорони праці:** Цей індикатор вказує на здатність виконавця забезпечити безпечні умови праці та відповідність всім нормативам щодо охорони праці.

**Співпраця та комунікація:** Оцінка рівня співпраці та комунікації вказує на здатність виконавця до ефективної взаємодії з іншими учасниками проєкту, що може впливати на загальний успіх будівельного процесу.

Ці індикатори допомагають забезпечити оцінку функціонально-технологічної надійності виконавців в будівництві та виявити потенційні проблеми чи можливості для покращення.

Оцінка функціонально-технологічної надійності виконавців будівельних проєктів тісно пов'язана з процесами цифровізації через використання сучасних цифрових технологій та аналізу даних. Використання цифрових інструментів для моніторингу та управління процесами будівництва, такі як системи автоматизації будівельних процесів (BIM), дозволяють в реальному часі відслідковувати хід виконання робіт, контролювати якість та ресурси, що використовуються. Аналіз великих обсягів даних (Big Data) про попередні проєкти дозволяє виявити патерни та тенденції, що сприяє удосконаленню про-

цесів будівництва та виправленню помилок. Штучний інтелект (AI) для передбачення потенційних проблем та ризиків у будівельних проєктах допомагає забезпечити їхню функціональну надійність та уникнути непередбачених ситуацій. Інтернет речей (IoT), як наприклад, встановлення датчиків та інших пристроїв IoT на будівельних об'єктах дозволяє в реальному часі моніторити стан систем та обладнання, що сприяє забезпеченню їхньої надійності та ефективності. Цифрові технології надають можливість виконавцям будівельних проєктів більш точно контролювати процеси, уникати помилок, прогнозувати ризики та підвищувати загальний рівень надійності виконання робіт. Таким чином, цифровізація сприяє покращенню оцінки та забезпеченню функціонально-технологічної надійності виконавців будівельних проєктів. Сучасна технологія моделювання організаційної підготовки та девелоперського супроводу проєктів будівництва – це інноваційний підхід, який використовується для оптимізації та удосконалення процесів управління будівельними проєктами з метою досягнення максимальної ефективності та успішного втілення проєктів. Основними складовими цієї технології є:

**Використання цифрових інструментів,** де технологія моделювання організаційної підготовки та девелоперського супроводу передбачає використання цифрових платформ, таких як Building Information Modeling (BIM), для створення цифрових моделей будівельних проєктів. Це дозволяє здійснювати комплексний аналіз і оптимізацію проєктів на кожному етапі від концепції до введення в експлуатацію.

**Управління ресурсами та ризиками,** що дозволяє автоматизувати процеси управління ресурсами (людськими, матеріальними, фінансовими) та ризиками, що дозволяє ефективно планувати, контролювати та мінімізувати можливі негативні впливи на проєкт.

**Забезпечення взаємодії та співпраці** стимулює взаємодію та співпрацю між усіма учасниками будівельного процесу, включаючи замовників, девелоперів, дизайнерів, підрядників та консультантів. Це сприяє зменшенню конфліктів, підвищенню якості проєкту та збільшенню швидкості виконання робіт.

**Аналіз та прогнозування** завдяки використанню аналітики даних та штучного інтелекту дозволяє проводити глибокий аналіз проєктів,

робити прогнози щодо їхнього виконання та реагувати на потенційні проблеми заздалегідь.

Усі ці елементи дозволяють підвищити ефективність управління будівельними проектами, знизити витрати та ризики, а також забезпечити високу якість та успішне завершення будівництва.

*Застосування інструментів нечіткої логіки та аналізу соціальних мереж (SNA – Social Network Analysis) для оцінки якості зв'язків між будівництвом та учасниками проекту є важливим напрямком досліджень в сучасній будівельній індустрії. Ці інструменти дозволяють аналізувати складні та нечіткі взаємодії між учасниками проекту та визначати якість комунікації, співпраці та взаєморозуміння.*

Застосування нечіткої логіки дозволяє моделювати та аналізувати нечіткі, неоднозначні аспекти взаємодії між учасниками будівельного проекту. Наприклад, нечіткість у визначенні рівня довіри, ефективності спілкування, або важливості певних аспектів співпраці може бути врахована та відображена за допомогою нечітких моделей. Це дозволяє краще розуміти та оцінювати якість взаємодії між сторонами проекту.

З іншого боку, аналіз соціальних мереж дозволяє виявляти та аналізувати структуру комунікаційних мереж між учасниками проекту. Це включає в себе визначення ключових учасників, груп та підгруп, а також оцінку потужності та ефективності зв'язків між ними. Дані, отримані в результаті аналізу соціальних мереж, можуть бути використані для вдосконалення комунікації, вирішення конфліктів та підвищення ефективності взаємодії між учасниками будівельного проекту.

Таким чином, застосування інструментів нечіткої логіки та SNA для оцінки якості зв'язків між будівництвом та учасниками проекту дозволяє отримати більш глибоке та повне розуміння взаємодії між сторонами, що може веде до покращення комунікації, зниження ризиків та досягнення більш успішних результатів у будівництві.

Оцінка надійності підрядників будівельних проектів передбачає урахування різних параметрів і факторів, які дозволять у першому наближенні переконатися, що обраний підрядник здатний успішно виконати проект. За методом експертних оцінок на основі відкритого анкетування працівників проектних, підрядних підприємств, девелоперських компаній (усього 20 фахівців) виокремлено ряд

факторів, які зазвичай враховуються при оцінюванні надійності виконавців будівельних проектів та можуть бути описані як числовими параметрами, так і лінгвістичними змінними, а саме:

1. *Досвід роботи у аналогічних проектах.* Така вимога є обов'язковою при участі підрядних підприємств у тендерах, де компанії мають не тільки вказати свій досвід, але і надавати підтвердження участі (акти виконаних робіт, договори минулих років тощо). При цьому враховується складність і розмір проекту, а також ступінь участі підрядника – обсяг виконаних робіт. Замовники ретельно вивчають дотримання графіків виконання робіт і перевищення бюджету (наявність додаткових угод та їх обсяг) у минулих проектах.

Метою дослідження є побудова нечіткої моделі для оцінки надійності виконавців проекту. Для створення моделі необхідно визначити її головні системоутворюючі елементи – правила, кількість та тип функцій для кожної із перелічених вище змінних моделі, параметри вихідних функцій, логічні оператори (та/або) тощо (рис. 1).

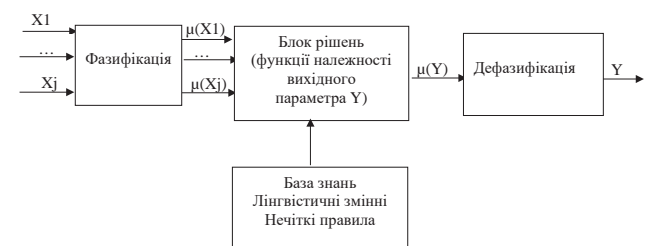


Рис. 1. Методичний підхід до визначення надійності виконавців будівельних робіт – традиційна модель.

Для побудови функцій належності обрано методичний підхід, використаний у роботі [7] для оцінювання якості проектних рішень, аналогічні підходи використано у працях [8-12]. Зазначений методичний підхід ґрунтується на розрахунку частоти кожного чинника, визначеної на основі статистичної обробки відповідей експертів за кожною із терм-множин і може бути використано для визначення надійності підприємств-виконавців будівельних робіт. Отримані частоти можуть слугувати основою для побудови функцій належності та створення системи нечітких правил.

На першому етапі дослідження, кожен експерт заповнює анкету, у якій вказує власну думку щодо характеристик кожного з елементів терм-множин для чинників 1-6. Експерти

надавали відповіді за дуальною системою оцінювання, де «1» – наявність параметру відповідної множини на думку даного експерта, а «0» – відсутність (табл. 1). Тобто відповіді кожного експерта є альтернативними. Описуваний параметр має належати тільки до однієї групи. Наприклад, для чинника «Досвід роботи у аналогічних проектах», кожен експерт має оцінити, чи досвід роботи відповідно відсутній, один-два роки, три-чотири роки тощо є «достатнім» бо «недостатнім» для гарантування надійності виконавця будівельних робіт. При цьому один і той самі інтервали в якому разі не може бути і достатнім і недостатнім одночасно. Одне твердження виключає інше.

Після отримання відповідей, усі оцінки експертів оброблялись і узагальнювались. Ступені належності нечіткій множині розраховано за формулою

$$\mu_i(l_i) = \frac{1}{N} \sum_{n=1, N} r_{ji}^n, i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

$N$  – кількість експертів,  
 $r_{ji}^n$  – думка кожного із  $N$  експертів ( $n = \overline{1, N}$ ) о можливості віднесення окремого елемента  $l_i$  о відповідної терм-множини на основі аналізу їх параметрів.

Роль досвіду роботи в подібних проектах у формуванні надійності учасників інвести-

ційної та будівельної діяльності є важливим чинником забезпечення надійності. Минулий досвід проекту впливає на компетентність, прийняття рішень та продуктивність окремих працівників і організації в цілому. Аналізуючи механізми, через які досвід роботи впливає на надійність проекту, включаючи передачу знань, управління ризиками та вирішення проблем, можна отримати цінну інформацію про важливість використання минулого досвіду для покращення результатів проекту.

Досвід є основним фактором успіху в будівельній галузі, де складні проекти вимагають глибокого розуміння технічних, логістичних та управлінських проблем. Досвід роботи в подібних проектах може значно вплинути на надійність учасників, оскільки формує їхню здатність передбачати проблеми, приймати зважені рішення та ефективно виконувати завдання.

Як показав аналіз результатів опитування, досвід роботи у семи і більшої кількості аналогічних проектів або виконання схожих видів робіт абсолютно усі експерти вважають достатнім для забезпечення надійності виконавця, а стовідсотково недостатнім досвідом є повна відсутність досвіду виконання аналогічних робіт або участі у схожих проектах (таблиця 2). Досвід роботи у п'яти-шести проектах із ймовірністю 75% можна вважати достатнім для забезпечення надійності

**Таблиця 1. Результати опитувань експертів щодо критерію «Досвід роботи у аналогічних проектах» (фрагмент)**

	Терм	Немає	1-2	3-4	5-6	7-8	Більше 8
Експерт 1	Достатній	0	0	1	1	1	1
	Недостатній	1	1	0	0	0	0
Експерт 2	Достатній	0	0	1	1	1	1
	Недостатній	1	1	0	0	0	0
Експерт 3	Достатній	0	0	0	0	1	1
	Недостатній	1	1	1	1	0	0
Експерт 4	Достатній	0	0	0	1	1	1
	Недостатній	1	1	1	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...
Експерт 19	Достатній	0	1	1	1	1	1
	Недостатній	1	0	0	0	0	0
Експерт 20	Достатній	0	0	1	1	1	1
	Недостатній	1	1	0	0	0	0

**Таблиця 2. Узагальнення думок експертів щодо критерію «Досвід роботи у аналогічних проектах» (фрагмент)**

Терм	Немає	1-2	3-4	5-6	7-8	Більше 8
Достатній	0	7	10	15	20	20
Недостатній	20	13	10	5	0	0

*Розраховано автором*

майбутніх підрядних організацій-виконавців будівельних робіт, і навіть досвід участі тільки в одному чи двох проєктах 35% експертів вважають достатній для забезпечення надійності виконавця у майбутньому (табл. 3).

Якщо потенційний виконавець будівельних робіт – учасник інвестиційно-будівельного проєкту приймав участь тільки у трьох-чотирьох проєктах, у рівній мірі це може свідчити як про його надійність, так і про нестачу надійності. Тобто у такому випадку має місце найбільша невизначеність (рис. 1, табл. 1, табл. 2).

Функція належності до терму «недостатній» має вигляд:

$$\mu(x_1) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x_1 - 0,0888}{3,394} \right)^2} \quad (1)$$

Функція належності до терму «достатній» має вигляд:

$$\mu(x_1) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x_1 - 0,101832}{3,622} \right)^2} \quad (2)$$

Аналогічним чином визначаються функції належності для інших факторів, що впливають на надійність підприємства-виконавця будівельних робіт.

Попередній досвід у подібних проєктах служить важливою основою для учасників, формуючи їхні можливості та підходи в подальших починаннях, тоді як якість є основним фактором, що визначає успіх проєкту, вплива-

ючи на такі фактори, як продуктивність, задоволеність клієнтів і репутація. Аналізуючи механізми, за допомогою яких якість роботи підприємства впливає на його надійність як учасника інвестиційно-будівельного проєкту, включаючи формування репутації, розвиток навичок і задоволеність клієнтів, дозволить підвищити надійність та стійкість учасників інвестиційно-будівельних проєктів та сприятиме довгостроковому успіху організації.

Для подальшого уточнення та збільшення адаптивності моделі необхідно доповнювати і оновлювати вхідні дані щодо усіх претендентів на виконання робіт кожного інвестиційного проєкту. На основі оновлених даних, рекомендовано уточнювати отримані моделі та правила, що дозволить створити самоадаптивну систему оцінювання надійності виконавців будівельних робіт.

Формування методичного підґрунтя для інвестиційного контролінгу включає розробку стандартів, методів та процедур, що дозволяють ефективно виконувати контроль за інвестиційними проєктами. Інвестиційний контролінг на платформі BIM-технологій передбачає використання цифрових інструментів для збору, аналізу та візуалізації даних проєкту, що дозволяє забезпечити більш точний та швидкий контроль за фінансовими показниками. BIM (Building Information Modeling) як цифровий процес, дозволяє створювати та

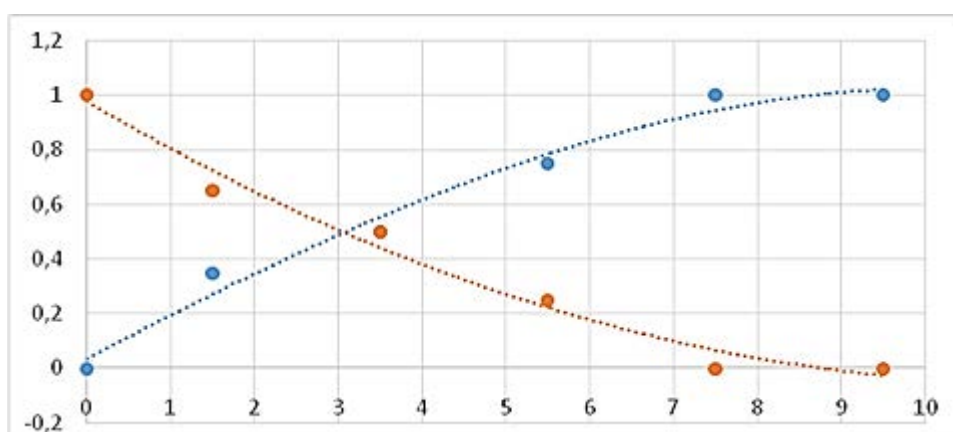


Рис. 2. Функції належності для терм-множини «Досвід роботи у аналогічних проєктах» (розроблено автором)

Таблиця 3. Визначення функцій належності для критерію «Досвід роботи у аналогічних проєктах» (фрагмент)

Терм	Немає	1-2	3-4	5-6	7-8	Більше 8
Достатній	0	0.35	0.5	0.75	1	1
Недостатній	1	0.65	0.5	0.25	0	0

Розраховано автором

керувати інформацією про будівельний об'єкт протягом всього життєвого циклу проекту. BIM дозволяє створювати віртуальну модель будівлі або іншого об'єкта, яка включає в себе інформацію про геометрію, матеріали, конструкції, технічне обладнання тощо. Використання BIM-технологій у містобудуванні сприяє покращенню процесів проектування, будівництва та управління будівлями, зменшенню витрат та ризиків, підвищенню якості та ефективності проектів. Об'єднання цих двох аспектів дозволяє створити методичне підґрунтя для ефективного інвестиційного контролінгу на основі BIM-технологій. Це включає в себе розробку стандартів та методів вимірювання та аналізу економічної ефективності впровадження BIM, розробку інструментів для моніторингу витрат та контролю за реалізацією інвестиційних проектів на основі цифрових моделей, а також впровадження систем автоматизованої звітності та аналізу на основі даних BIM.

Методичне регулювання реінжинірингу бізнес-процесів у сучасному девелопменті та організації будівництва є важливим інструментом для оптимізації та покращення ефективності в цих сферах. Реінжиніринг бізнес-процесів полягає в радикальному перегляді та перетворенні існуючих процесів з метою досягнення значних покращень у їхній ефективності, продуктивності та якості результатів. Для успішного впровадження реінжинірингу бізнес-процесів у сферах девелопменту та будівництва необхідно врахувати наступні етапи:

1. Аналіз ідентифікації процесів, де першим кроком є аналіз та ідентифікація ключових бізнес-процесів у сфері девелопменту та будівництва. Це включає в себе визначення всіх етапів процесів, ролей та відповідальностей учасників, а також визначення існуючих проблем та можливостей для покращення.

2. Визначення стратегічних цілей та завдань, які необхідно досягти за допомогою реінжинірингу бізнес-процесів. Це може включати збільшення ефективності, зниження витрат, покращення якості та швидкості виконання проектів тощо.

3. На основі аналізу і визначення стратегічних цілей необхідно розробити нові бізнес-процеси, які будуть спрямовані на досягнення цих цілей. Це може включати впровадження нових технологій, методів управління та організаційних структур.

4. Останнім етапом є впровадження нових бізнес-процесів та їхній постійний моніторинг і оновлення відповідно до потреб та змін у сфері девелопменту та будівництва.

Виявлено, що цифровізація призвела до необхідності адаптації учасників інвестиційно-будівельного процесу до нових вимог, оцінювання власного рівня цифрового розвитку, розробки стратегій цифровізації, які мають бути адаптованими до вимог участі у різних інвестиційно-будівельних проектах. Удосконалення механізму цифрової трансформації учасників будівництва в рамках інвестиційно-будівельних проектів включає створення системи індикаторів, призначених для оцінки та моніторингу ходу цифровізації та адаптації до вимог проектів, розробка заходів із розвитку цифровізації, визначення індикаторів та методики оцінювання розвитку будівництва на базі цифрових технологій.

**Висновки.** В сучасній будівельній індустрії ключовим аспектом стає забезпечення надійності та якості будівництва. Для досягнення цієї мети девелопери та будівельні компанії використовують аналітико-прикладні інновації. Ці інновації поєднують в собі аналітичні методи та сучасні технології для забезпечення оптимальної функціональності та технологічної надійності проектів. Оновлення моделей організації будівництва в контексті адаптованості до сучасних управлінських та цифрових технологій є критично важливим завданням для будівельної індустрії. Це вимагає не лише впровадження нових технологій, але і зміни в культурі та управлінських підходах, що сприятимуть створенню більш гнучких, ефективних та конкурентоздатних будівельних підприємств.

Функціонально-технологічна надійність виконавців в будівництві означає здатність будівельних підрядників та інших учасників будівельного процесу ефективно виконувати свої функції та завдання з урахуванням сучасних технологій, стандартів якості та вимог замовників. Це включає в себе не лише здатність виконати роботи відповідно до проекту та вимог, але й забезпечення високого рівня технічної готовності та відповідності робіт встановленим термінам. Запропоновано методологічні положення щодо формування механізму впровадження технологічного реінжинірингу, де у якості об'єктів визначені виробничо-технологічна база підрозділів, система управління, виробничі відносини та



інфраструктура матеріально-технічного забезпечення будівництва. Зазначений механізм спрямовано на оптимізацію вертикальних та горизонтальних функціональних взаємозв'язків, побудову організаційної взаємодії суб'єктів внутрішнього і зовнішнього середовища, внутрішньо-виробничих трансфертних відносин. Функціональна надійність орієнтована на

забезпечення правильності виконання функцій будівельних об'єктів та їх відповідність цілям і потребам замовника. Технологічна надійність визначається наявністю та якістю використання сучасних технологій, матеріалів і методів будівництва, що забезпечують ефективність, економічність та стійкість конструкцій та систем будівельних об'єктів.

### Література

1. Ніколаєв В.П., Ніколаєва Т.В. Інформаційне моделювання будівель: імперативи оптимізації будівельно-експлуатаційного процесу. Будівельне виробництво. 2015. № 59. С. 17–26.
2. Ключко А. А. Цифрові технології в галузі архітектури і будівництва. Управління розвитком складних систем. Київ, 2021. № 48. С. 61 – 68, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.48.61-68.
3. Рижаківа Г. М., Кішак Н. Г., Міронов О. О., Чуприна Х. М., Шпакова Г. В., Веремєєв С. О. Визначальні компоненти методологічної платформи трансформації системи управління будівельними підприємствами в умовах цифровізації. Управління розвитком складних систем. Київ, 2021. № 48. С. 95 – 101, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.48.95-101.
4. Шпаков А. В. Методологічні підходи формування інноваційних технологій управління підприємствами в динамічному бізнес-середовищі будівельного девелопменту. Управління розвитком складних систем. Київ. 2022. № 49. С. 124 – 131, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.49.124-131.
5. Revunov, Oleksandr, Ryzhakova, Galyna, Malykhina, Oksana, Predun, Kostiantyn, Prykhdokko, Dmytro & Orlenko, Igor. (2021). Analytical tools for diagnostics of quality management systems of enterprises-stakeholders of construction projects. *Management of Development of Complex Systems*, 45, 161–169, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.45.161-169.
6. Ryzhakova, G. M. (2019). General-methodical regulation and analytical and information support of administration processes in the modern system of building development. *Modern problems of architecture and urban planning*, 55, 154–168.
7. Bielienskova O., Stetsenko S., Sorokina L., Molodid O., Bolila N. (2020). System of preventive action of construction enterprises on the basis of identification of anticrisis potential. *Scientific Journal of Astana IT University*. No3. 15-27.
8. Ryzhakova, G. M., Ryzhakov, D. A. (2019). Performance evaluation of the developer's operating system in the microenvironment of housing construction stakeholders. *Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations*, 42, 120–131.
9. Gamil Yaser, Cwirzen Andrzej. "Digital Transformation of Concrete Technology-A Review." *Frontiers in Built Environment*, 2022, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.835236>
10. Lee Ching-Hung, Liu Chien-Liang, Trappey Amy, Mo John, Desouza Kevin. Understanding digital transformation in advanced manufacturing and engineering: A bibliometric analysis, topic modeling and research trend discovery. *Advanced Engineering Informatics*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101428>.
11. Klee C. Digitization of the property development industry: overview of current literature and research gaps. *Espergesia*, 2021. 8(1), 62–68. <https://doi.org/10.18050/rev.espergesia.v8i1.848>.
12. Sumer L. The Digital Future of the Construction Project Management. In: Calisir, F. (eds) *Industrial Engineering in the Age of Business Intelligence*. GJCIE 2021. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering, 2023. (Published 25 August 2022) Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08782-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08782-0_20).
13. Alizadehsalehi S, Yitmen I, Celik T, Arditi D. The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. *Int J Occup Saf Ergon (JOSE)*, 2018. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1504487>
14. Kline R, Turk Z. Construction 4.0—digital transformation of one of the oldest industries. *Econ Bus Rev*, 2019. No 21(3). Pp. 393–410.
15. ДБН А.1.1-1:2009. Система нормування та стандартизації у будівництві. Основні положення. [Затверджено та надано чинності: накази Мінрегіонбуду України від 29.12.2003 р. № 969 та від 7.07.2010 р. № 269, чинні з 2011-01-01]. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/DBN-A.1.1-1-2009.pdf>.
16. Стеценко С. П., Сорокіна Л. В., Ізмайлова К. В. Фінансовий аналіз та економічна діагностика. Київ: КНУБА. 2019. 320 с.
17. Сорокіна Л., Гойко А. Модель формування інвестиційної програми будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем*, 2023. (53), 100–110.
18. Goiko, A. F, Sorokina, L. V., Skakun, V. A. (2018). Management of business processes as an important factor in improving the quality of construction products. *Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations*, 18, 150–158.
19. Tugai, O. A. Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres.2019. 130 p

### References

1. Nikolaiev V.P., Nikolaieva T.V. Informatsiine modeliuвання budiveli: imperatyvy optymizatsii budivelnno-eksploatatsiinoho protsessu [Information modeling of buildings: imperatives for optimizing the construction and operational process]. *Budivelnne vyrobnytstvo*. 2015, 59, 17–26.
2. Klochko A. A. Tsyfrovi tekhnolohii v haluzi arkhitektury i budivnytstva [Digital and Info-Communication Technologies in Branch of Architecture and Construction]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 2021, 48, 61 – 68, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.48.61-68.
3. Ryzhakova, Galyna, Kishchak, Nataliia, Mironov, Aleksandr, Chupryna, Khrystyna, Shpakova, Hanna & Veremeev, Serhii. Vyznachalni komponenty metodolohichnoi platformy transformatsii systemy upravlinnia budivelnnyimi pidpriemstvamy v umovakh tsyfrovizatsii. [Defining components of the methodological platform for the transformation of the management system

- of construction companies in the context of digitalization]. *Management of Development of Complex Systems*. 2021. 48, 95–101. dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.48.95-101.
4. Shpakov A. V. Metodolohichni pidkhody formuvannya innovatsiinykh tekhnolohii upravlinnia pidpriemstvamy v dynamichnomu biznes-seredovyshchi budivelnoho development [Methodological approaches to the formation of innovative enterprise management technologies in the dynamic business environment of construction development]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. Kyiv. 2022. № 49. S. 124 – 131, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.49.124-131.
  5. Revunov, Oleksandr, Ryzhakova, Galyna, Malykhina, Oksana, Predun, Kostiantyn, Prykhodko, Dmytro, Orlenko, Igor. Analytical tools for diagnostics of quality management systems of enterprises-stakeholders of construction projects. *Management of Development of Complex Systems*. 2021. 45, 161–169, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.45.161-169.
  6. Ryzhakova, G. M. General-methodical regulation and analytical and information support of administration processes in the modern system of building development. *Modern problems of architecture and urban planning*, 2019, 55, 154–168.
  7. Bielenkova O., Stetsenko S., Sorokina L., Molodid O., Bolila N. (2020). System of preventive action of construction enterprises on the basis of identification of anticrisis potential. *Scientific Journal of Astana IT University*. 2020. No3. 15-27.
  8. Ryzhakova, G. M., Ryzhakov, D. A. (2019). Performance evaluation of the developers operating system in the microenvironment of housing construction stakeholders. *Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations*, 42, 120–131.
  9. Gamil Yaser, Cwirzen Andrzej. “Digital Transformation of Concrete Technology-A Review.” *Frontiers in Built Environment*, 2022, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.835236>
  10. Lee Ching-Hung, Liu Chien-Liang, Trappey Amy, Mo John, Desouza Kevin. Understanding digital transformation in advanced manufacturing and engineering: A bibliometric analysis, topic modeling and research trend discovery. *Advanced Engineering Informatics*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101428>.
  11. Klee C. Digitization of the property development industry: overview of current literature and research gaps. *Espergesia*, 2021. 8(1), 62–68. <https://doi.org/10.18050/rev.espergesia.v8i1.848>.
  12. Sumer L. The Digital Future of the Construction Project Management. In: Calisir, F. (eds) *Industrial Engineering in the Age of Business Intelligence*. GJCIE 2021. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering, 2023. (Published 25 August 2022) Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08782-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08782-0_20).
  13. Alizadehsalehi S, Yitmen I, Celik T, Arditi D. The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. *Int J Occup Saf Ergon (JOSE)*, 2018. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1504487>
  14. Klinc R, Turk Z. Construction 4.0—digital transformation of one of the oldest industries. *Econ Bus Rev*, 2019, 21(3), 393–410.
  15. DBN A.1.1-1:2009. Systema normuvannya ta standartyzatsii u budivnytstvi. Osnovni polozhennia [System of rationing and standardization in construction. Substantive provisions]. [Zatverdzheno ta nadano chynnosti: nakazy Minrehionbudu Ukrainy vid 29.12.2003 r. № 969 ta vid 7.07.2010 r. № 269, chynni z 2011-01-01]. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/DBN-A.1.1-1-2009.pdf>.
  16. Stetsenko S. P., Sorokina L. V., Izmailova K. V. Finansovyi analiz ta ekonomichna diahnostyka [Financial analysis and economic diagnostics]. Kyiv: KNUBA. 2019. 320 p.
  17. Sorokina L., Hoiko A. Model formuvannya investytsiinoi prohramy budivelnoho pidpriemstva [The model of formation of the investment program of the construction enterprise]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 2023. (53), 100–110.
  18. Goiko, A. F, Sorokina, L. V., Skakun, V. A. (2018). Management of business processes as an important factor in improving the quality of construction products. *Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations*, 18, 150–158.
  19. Tugai, O. A. Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres.2019. 130 p

## ANALYTICAL – APPLIED INNOVATIONS TO ENSURE THE FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF DEVELOPERS OF CONSTRUCTION PROJECTS

**Abstract.** *Analytical and applied innovations to ensure the functional and technological reliability of development construction projects are a key element in the modern construction industry. This article considers the role of innovative approaches in improving the quality and safety of construction projects. It describes methods and analysis tools that help identify potential problems and risks at the design stage. This list includes the use of modern modeling, visualization and data analysis technologies, such as simulation models, artificial intelligence and big data analysis. The result of their application is improved project management processes, reduced costs, and increased reliability and quality of construction works. The article highlights practical applications of innovative solutions in real construction projects and their impact on the development of the industry. The author considers the current issues of updating construction organization models in the context of their adaptability to modern management and digital technologies, where rapid technological changes and growing consumer demands challenge the construction industry to adapt to new conditions and effectively use digital tools to improve construction processes. The article outlines the key aspects of this problem, including the concept of adaptability, the impact of digital technologies on the construction industry, innovative approaches to the organization of construction, and ways to improve the efficiency and competitiveness of enterprises in this context. The results of the study may be useful for construction professionals, managers and researchers interested in transformation and current trends in the construction industry.*

**Key words:** *construction, digital transformation of construction, development, functional and technological reliability of contractors, construction project.*

**Zhaldak R. Yu.**

Postgraduate Student at the Department of Management in Construction, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv