**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ**
**ІНСТИТУТ ім. Ю. М. ПОТЕБНІ**
Кафедра інформаційної економіки, підприємництва та фінансів
(повна назва кафедри)

# Кваліфікаційна робота(проєкт)

магістра
(рівень вищої освіти)

на тему Сценарне моделювання цифрової трансформації промислових підприємств

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.0514-ie
спеціальності 051 Економіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Інформаційна економіка
(назва освітньої програми)
(ініціали та прізвище) Д. С. Нерушенко

Керівник проф., д.е.н., проф. Глущевський В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент_____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра інформаційної економіки, підприємництва та фінансів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 051 Економіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Інформаційна економіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри_____
«_____»_____20____року

**З А В Д А Н Н Я**
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)
Нерушенка Дмитра Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Сценарне моделювання цифрової трансформації промислових підприємств
керівник роботи Глущевський В. В., д.е.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ №318-с від «27» лютого 2025 року
Строк подання студентом роботи 01 грудня 2025 р.
2. Вихідні дані до роботи фінансово-економічні показники діяльності ПрАТ «Технопром».
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Теоретико-методологічні засади цифрової трансформації промислових підприємств. 2. Модельний апарат сценарного моделювання цифрової трансформації. 3. Практична реалізація сценарного моделювання на прикладі ПрАТ «Технопром».
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Основні етапи еволюції промислових революцій. Ключові драйвери цифрової трансформації промислових підприємств. Класифікація бар'єрів цифрової трансформації промислових підприємств. Логіка побудови сценарного моделювання. Етапи еволюції сценарного моделювання. Взаємозв'язок понять «цифрова зрілість» і «готовність до цифрової трансформації». Система критеріїв оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації.

5. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | професор, д.е.н., професор кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів Глущекський В.В. | 17.09 | 17.09 |
| 2 | професор, д.е.н., професор кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів Глущекський В.В. | 19.10 | 19.10 |
| 3 | професор, д.е.н., професор кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів Глущекський В.В. | 29.10 | 29.10 |

6. Дата видачі завдання_____

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Призначення наукових керівників. Затвердження тем дипломних робіт | *27.02.2025* | |
| 2 | Напрацювання теоретичного матеріалу: дослідження сутності об’єкту та предмету дослідження, критичний аналіз існуючих методологічних засад, вибір та обґрунтування напрямку проведення дослідження | *29.10.2025* | |
| 3 | Апробація результатів на Міжнародних та Всеукраїнських конференціях | *3.11.2025* | |
| 4 | Розробка економіко-математичного забезпечення основних елементів концептуального підходу | *10.11.2025* | |
| 5 | Збір та систематизація статистичного та нормативного матеріалу дослідження. | *17.11.2025* | |
| 6 | Узагальнення отриманих результатів. Оформлення роботи | *30.11.2025* | |
| 7 | Надання роботи до рецензії. Нормоконтроль | *01.12.2025* | |
| 8 | Прилюдний захист дипломної роботи на засіданні ЕК | *16.12.2025* | |

Студент _____ Д. С. Нерушенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ В. В. Глущевський
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ _____
(підпис) (ініціали та прізвище

# АНОТАЦІЯ

Нерушенко Д. С. Сценарне моделювання цифрової трансформації промислових підприємств.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 051 – Економіка, науковий керівник В. В. Глущевський. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні ЗНУ, кафедра інформаційної економіки, підприємництва та фінансів, 2025.

Магістерська робота присвячена розробці та практичній реалізації сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств з урахуванням сучасних тенденцій і можливостей застосування економіко-математичних моделей.

В роботі досліджено сутність і сучасні підходи до цифрової трансформації промислових підприємств; проаналізовано методологічні засади та інструменти сценарного моделювання в економіці; удосконалено модельний апарат сценарного аналізу цифрової трансформації; розроблено практичні сценарії цифрової трансформації на прикладі ПрАТ «Технопром»; оцінено економічний ефект від впровадження сценарних моделей на підприємстві.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методичного підходу до сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств шляхом інтеграції економіко-математичних моделей із практичними інструментами оцінювання ефективності впровадження цифрових технологій. Отримані результати дістали подальшого розвитку у вигляді практичного застосування сценарних моделей на прикладі промислового підприємства ПрАТ «Технопром».

Ключові слова: ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ, ПРОМИСЛОВЕ ПІДПРИЄМСТВО, СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНДУСТРІЯ 4.0, ЦИФРОВА ЗРІЛІСТЬ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ІНВЕСТИЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

# SUMMARY

Nerushenko D. S. Scenario modeling of digital transformation of industrial enterprises.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of master in the specialty 051 - Economics, scientific supervisor V. V. Glushchevsky. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu. M. Potebna ZNU, Department of Information Economics, Entrepreneurship and Finance, 2025.

Master's thesis is devoted to the development and practical implementation of scenario modeling of digital transformation of industrial enterprises taking into account modern trends and possibilities of applying economic and mathematical models.

The work explores the essence and modern approaches to digital transformation of industrial enterprises; analyzes the methodological principles and tools of scenario modeling in the economy; improves the model apparatus of scenario analysis of digital transformation; develops practical scenarios of digital transformation using the example of PJSC "Technoprom"; assesses the economic effect of implementing scenario models at the enterprise.

The scientific novelty of the work lies in improving the methodological approach to scenario modeling of the digital transformation of industrial enterprises by integrating economic and mathematical models with practical tools for assessing the effectiveness of the implementation of digital technologies. The results obtained were further developed in the form of practical application of scenario models on the example of the industrial enterprise PJSC "Technoprom".

Keywords: DIGITAL TRANSFORMATION, INDUSTRIAL ENTERPRISE, SCENARIO MODELING, INDUSTRY 4.0, DIGITAL MATURITY, ECONOMIC EFFECT, INVESTMENT EFFICIENCY

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ …….. 9
1.1. Сутність та еволюція концепції цифрової трансформації в промисловості ……... 9
1.2. Теоретичні підходи до сценарного моделювання в економічних дослідженнях …….. 16
1.3. Методичні основи оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації ……..... 23
1.4. Висновки до розділу 1…….. 30
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЬНИЙ АПАРАТ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ……. 31
2.1 Концептуальна побудова сценаріїв цифрової трансформації промислових підприємств ……..……. 31
2.2 Формалізація економіко-математичних моделей сценарного аналізу …….…… 35
2.3 Методи оцінювання ефективності реалізації сценаріїв цифрової трансформації …… 42
2.4. Висновки до розділу 2…….. 49
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ПрАТ «ТЕХНОПРОМ»……. 51
3.1. Загальна характеристика діяльності ПрАТ «Технопром» та аналіз стану цифровізації …… 51
3.2. Розробка та застосування сценарних моделей цифрової трансформації ПрАТ «Технопром»…….. 57
3.3. Практичні рекомендації щодо впровадження результатів сценарного моделювання…….. 64
3.4. Висновки до розділу 3…….. 66
ВИСНОВКИ…… 68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 71

# ВСТУП

Цифрова трансформація промислових підприємств є ключовим чинником підвищення їхньої конкурентоспроможності в умовах глобалізації та переходу до економіки знань. Використання цифрових технологій змінює традиційні бізнес-моделі, створює нові підходи до організації виробництва, управління та прийняття рішень. Для України, яка прагне інтегруватися до світових економічних процесів і забезпечити сталий розвиток національної промисловості, питання впровадження цифрових стратегій набуває особливої актуальності.

У сучасних умовах промислові підприємства стикаються з низкою викликів: необхідністю оптимізації виробничих процесів, підвищення ефективності використання ресурсів, зниження ризиків, забезпечення енергоефективності та гнучкості у відповідь на коливання ринку. Сценарне моделювання дозволяє врахувати невизначеність зовнішнього середовища, передбачити варіанти розвитку подій та обрати оптимальні стратегії цифрової трансформації. Це створює підґрунтя для формування інноваційних управлінських рішень, які сприятимуть зміцненню позицій промислових підприємств на внутрішньому та міжнародному ринках.

*Метою* кваліфікаційної роботи є розробка та практична реалізація сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств з урахуванням сучасних тенденцій і можливостей застосування економіко-математичних моделей.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі *завдання*:

– досліджено сутність і сучасні підходи до цифрової трансформації промислових підприємств;

– проаналізовано методологічні засади та інструменти сценарного моделювання в економіці;

– удосконалено модельний апарат сценарного аналізу цифрової трансформації;

– розроблено практичні сценарії цифрової трансформації на прикладі ПрАТ «Технопром»;

– оцінено економічний ефект від впровадження сценарних моделей на підприємстві.

*Об'єктом дослідження* є процес цифрової трансформації промислових підприємств.

*Предметом дослідження* є сценарні моделі та інструменти їх застосування для забезпечення ефективності цифрової трансформації.

*Методи дослідження* ґрунтуються на системному підході й включають: методи аналізу та синтезу, порівняльний аналіз, економіко-математичне моделювання, сценарне планування, метод експертних оцінок, а також статистичні методи для перевірки достовірності результатів.

*Наукова новизна* роботи полягає в удосконаленні методичного підходу до сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств шляхом інтеграції економіко-математичних моделей із практичними інструментами оцінювання ефективності впровадження цифрових технологій. Отримані результати дістали подальшого розвитку у вигляді практичного застосування сценарних моделей на прикладі промислового підприємства ПрАТ «Технопром».

*Практичне* значення роботи полягає у можливості використання розроблених сценаріїв трансформації для формування стратегічних управлінських рішень, підвищення ефективності бізнес-процесів і зниження ризиків впровадження цифрових технологій. Запропоновані результати можуть бути використані як у діяльності конкретного підприємства, так і в розробці рекомендацій для інших промислових організацій України.

Структура магістерської роботи відповідає поставленій меті та завданням і складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг становить 70 сторінки, у тому числі 15 таблиць, 9 рисунків та 59 джерел використаної літератури.

# РОЗДІЛ 1
# ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

## 1.1. Сутність та еволюція концепції цифрової трансформації в промисловості

У сучасних умовах глобалізації та переходу до економіки знань цифрова трансформація стала одним із провідних трендів розвитку промисловості. Під цим поняттям розуміють не лише впровадження нових цифрових технологій у виробничі процеси, але й докорінну зміну бізнес-моделей, управлінських підходів та взаємодії із зовнішнім середовищем [1]. Важливою відмінністю цифрової трансформації від традиційної автоматизації є її комплексний характер: йдеться не про точкове використання інформаційних технологій, а про їх інтеграцію в усі рівні діяльності підприємства – від стратегічного управління до виробничих операцій.

У науковій літературі цифрова трансформація визначається як системний процес використання цифрових технологій для створення нової цінності, оптимізації бізнес-процесів і забезпечення конкурентних переваг [2]. Вона включає не лише технічні зміни, але й організаційні перетворення, що передбачають розвиток нової корпоративної культури, орієнтованої на інновації та гнучкість.

Важливим аспектом є розмежування понять «цифровізація» та «цифрова трансформація». Якщо цифровізація здебільшого означає процес оцифрування та впровадження інформаційних технологій для підвищення ефективності окремих процесів, то цифрова трансформація відображає більш глибинний рівень змін, що охоплює стратегію, структуру та спосіб створення вартості на підприємстві [3]. Таким чином, цифровізація виступає передумовою, але не є тотожним процесом трансформації (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння автоматизації, цифровізації та цифрової трансформації

| Характеристика | Автоматизація | Цифровізація | Цифрова трансформація |
|---|---|---|---|
| Основна мета | Зниження ручної праці, підвищення продуктивності | Оптимізація процесів через використання IT | Формування нових бізнес-моделей і створення цінності |
| Об’єкт впливу | Окремі виробничі операції | Бізнес-процеси | Уся система управління та стратегія підприємства |
| Технологічна база | Механізація, автоматизовані лінії | Інформаційні системи, ERP, CRM | Індустрія 4.0: IoT, Big Data, AI, цифрові платформи |
| Рівень змін | Технічний | Техніко-економічний | Стратегічний, організаційний і культурний |
| Очікуваний результат | Зменшення витрат часу і ресурсів | Підвищення ефективності та прозорості операцій | Нові конкурентні переваги, стійкість і гнучкість бізнесу |

У промисловості цифрова трансформація пов’язана із широким застосуванням технологій Індустрії 4.0, зокрема Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data), хмарних сервісів, технологій машинного навчання та штучного інтелекту. Їх інтеграція у виробничі системи дає можливість створювати «розумні фабрики», що характеризуються високим рівнем автономності, оптимізації та адаптивності [4]. Таким чином, сутність цифрової трансформації в промисловості полягає у формуванні нових бізнес-моделей і виробничих процесів, орієнтованих на створення додаткової цінності, підвищення гнучкості й ефективності виробництва, а також забезпечення стійкої конкурентної позиції на ринку.

Розвиток промисловості завжди був тісно пов’язаний із технологічними інноваціями. Сучасна цифрова трансформація є логічним продовженням попередніх хвиль індустріальних змін, які умовно позначають як «промислові революції». Кожна з них формувала нові способи організації виробництва, що поступово готували підґрунтя для комплексної цифровізації (рис. 1.1).

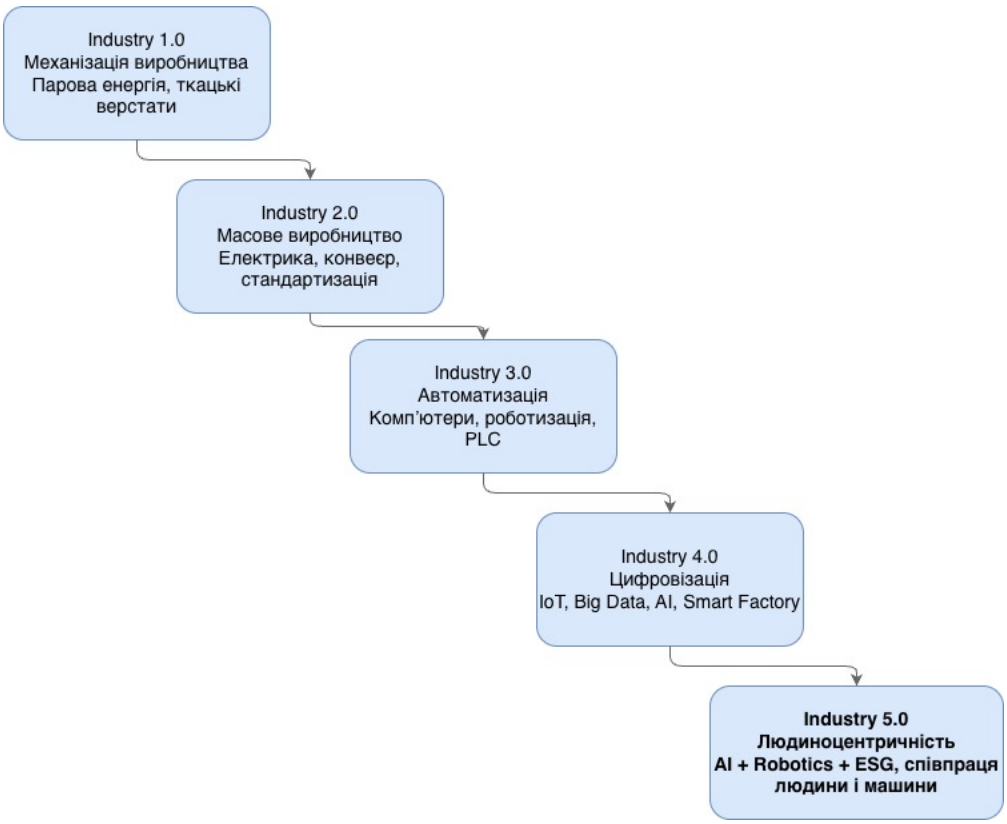



Рисунок 1.1 – Основні етапи еволюції промислових революцій

Перша промислова революція (кінець XVIII – початок XIX ст.) була пов'язана із впровадженням парових машин та механізацією виробництва. Саме тоді відбувся перехід від ручної праці до використання механічних пристроїв, що забезпечило масове виробництво й підвищення продуктивності.

Друга промислова революція (кінець XIX – початок XX ст.) асоціюється з електрифікацією виробництва, розвитком конвеєрних ліній та масового серійного виробництва. Цей етап приніс стандартизацію та суттєве здешевлення продукції, що стало основою для розширення світових ринків.

Третя промислова революція (1960–1980-ті роки) була обумовлена розвитком електроніки, комп'ютерної техніки та перших автоматизованих систем управління. На цьому етапі підприємства почали впроваджувати програмовані логічні контролери (PLC), інформаційні системи управління та робототехніку, що забезпечило підвищення точності та надійності виробничих процесів [5].

Четверта промислова революція (Індустрія 4.0) розпочалася на початку XXI ст. і ґрунтується на широкому використанні кіберфізичних систем, штучного інтелекту, Інтернету речей, великих даних і хмарних технологій. Її характерною рисою є створення «розумних фабрик», де виробничі процеси взаємопов'язані та автономні, а прийняття рішень здійснюється у режимі реального часу [6]. У цей період цифрова трансформація перестала обмежуватися лише технологічними аспектами та почала розглядатися як комплексна стратегія зміни бізнес-моделей і культури підприємств.

Останніми роками формується нова концепція – Індустрія 5.0, яка акцентує увагу на взаємодії людини і технологій, сталому розвитку та індивідуалізації виробництва. На відміну від Індустрії 4.0, що орієнтована на автоматизацію та ефективність, Індустрія 5.0 робить акцент на людині як ключовому елементі промислової екосистеми, прагнучи до гармонізації економічних, соціальних та екологічних цілей [7].

Сучасна цифрова трансформація є результатом багаторічної еволюції промислових технологій і управлінських концепцій. Вона не лише інтегрує досягнення попередніх етапів, але й формує нові орієнтири розвитку, що враховують як економічні, так і соціально-екологічні виклики.

Цифрова трансформація промислових підприємств є результатом взаємодії низки факторів, які стимулюють зміни у виробничій, економічній та організаційній сферах. Ці фактори умовно можна поділити на технологічні, економічні, організаційні та соціальні. Кожен із них формує власний вектор впливу на розвиток промисловості та визначає темпи впровадження цифрових рішень.

1. Технологічні драйвери. Стрімкий розвиток технологій Індустрії 4.0 – Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data), машинного навчання, робототехніки, адитивного виробництва (3D-друку) та хмарних сервісів – створює нові можливості для оптимізації виробництва й підвищення його ефективності [8]. Виробничі підприємства отримують змогу здійснювати

аналітику в реальному часі, прогнозувати збої, знижувати енергетичні витрати та інтегрувати інтелектуальні системи у свої бізнес-моделі.

2. Економічні драйвери. Зростаюча конкуренція на глобальному ринку, зниження життєвого циклу продукції та потреба в індивідуалізації виробів стимулюють підприємства впроваджувати цифрові технології для досягнення конкурентних переваг [9]. Використання аналітики та штучного інтелекту дозволяє зменшити витрати, скоротити час виходу продукції на ринок і підвищити продуктивність.

3. Організаційні драйвери. Цифрова трансформація неможлива без адаптації внутрішніх бізнес-процесів. Гнучкі методології управління (Agile, Lean, DevOps) та інтеграція цифрових платформ у систему прийняття рішень сприяють підвищенню швидкості реакції підприємств на зміни середовища. Організаційні драйвери також включають зміну корпоративної культури, орієнтацію на інновації та розвиток цифрових компетенцій персоналу [10].

4. Соціальні драйвери. Зростаючі вимоги клієнтів до індивідуалізованої продукції, прозорості та сталого розвитку спонукають компанії інтегрувати цифрові інструменти для підвищення рівня сервісу, зниження вуглецевого сліду та дотримання принципів корпоративної соціальної відповідальності [11].

Узагальнено ключові драйвери цифрової трансформації можна представити у вигляді схеми (рис. 1.2), яка відображає їхню класифікацію та взаємозв’язок.

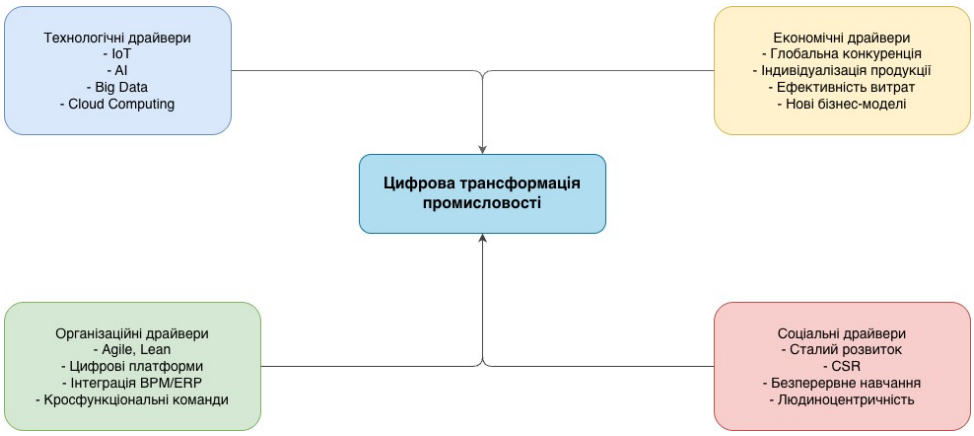



Рисунок 1.2 – Ключові драйвери цифрової трансформації промислових підприємств

Таким чином, цифрова трансформація є не лише технологічним процесом, а й багатофакторним явищем, що визначається взаємодією економічних інтересів, управлінських підходів та соціальних запитів. Її комплексний характер пояснює необхідність сценарного моделювання, яке дозволяє враховувати невизначеність та багатовимірність факторів впливу.

Незважаючи на значний потенціал цифрових технологій, їх широке впровадження у промисловості стикається з низкою обмежень і перешкод. Вони мають комплексний характер і охоплюють технологічні, економічні, організаційні та соціально-правові аспекти (табл. 1.2, рис. 1.3).

1. Технологічні виклики. Впровадження цифрових технологій потребує високого рівня IT-інфраструктури, сумісності між обладнанням і програмними рішеннями, а також значних інвестицій у кібербезпеку [12]. Проблема стандартизації та інтеграції різних систем часто ускладнює створення єдиних цифрових платформ. Крім того, швидкі темпи розвитку технологій призводять до ризику морального старіння вже запроваджених рішень.

Таблиця 1.2 – Основні виклики та бар’єри цифрової трансформації промисловості

| Категорія викликів | Зміст бар’єрів | Потенційні наслідки для підприємства |
|---|---|---|
| Технологічні | Відсутність стандартизації, кіберризики, моральне старіння технологій | Технічні збої, додаткові витрати на модернізацію |
| Економічні | Високі інвестиційні витрати, відтерміноване повернення інвестицій | Фінансове навантаження, ризик неповної окупності проектів |
| Організаційні | Опір змінам, низька цифрова компетентність персоналу, відсутність лідерства | Затримки у впровадженні, низька ефективність цифрових проєктів |
| Соціально-правові | Ризики для персональних даних, регуляторні обмеження, вивільнення робочої сили | Репутаційні втрати, штрафи, соціальна напруга |

2. Економічні бар’єри. Одним із головних обмежень для промислових підприємств є висока вартість цифрової трансформації. Інвестиції у «розумні фабрики», системи штучного інтелекту чи аналітику великих даних потребують

значних фінансових ресурсів, а повернення інвестицій часто є відтермінованим. Особливо це актуально для малих і середніх промислових підприємств, які не мають достатнього доступу до капіталу [13].

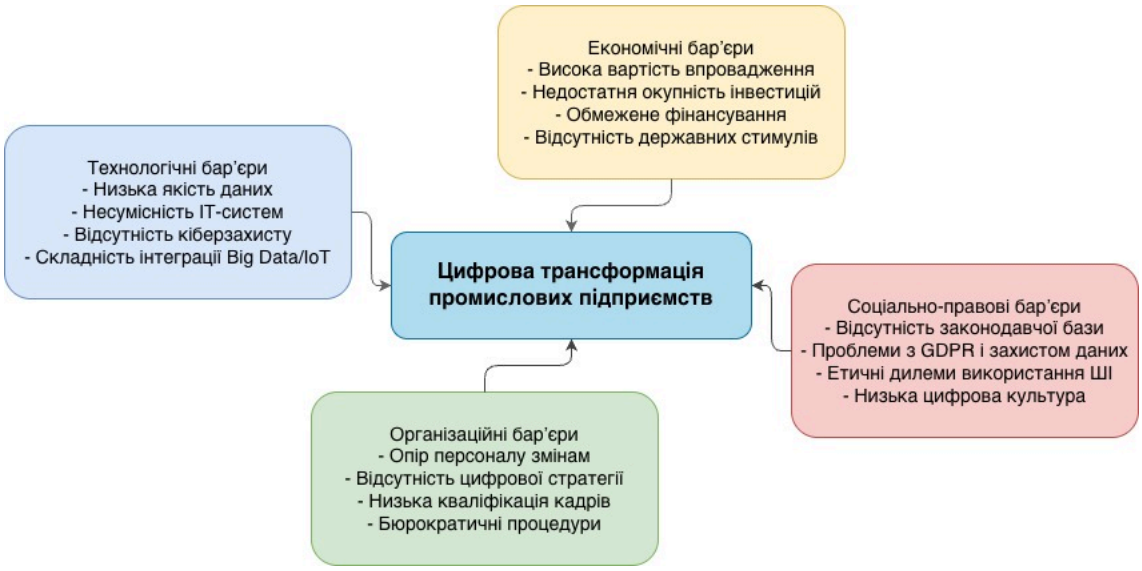



Рисунок 1.3 – Класифікація бар'єрів цифрової трансформації промислових підприємств

3. Організаційні виклики. Цифрова трансформація вимагає змін у структурі управління, організаційній культурі та системі прийняття рішень. Опір персоналу змінам, недостатній рівень цифрових компетенцій та відсутність лідерства з боку топ-менеджменту часто гальмують процес трансформації. Крім того, необхідність одночасного управління традиційними та цифровими бізнес-моделями створює додаткову складність [14].

4. Соціально-правові бар'єри. Важливим викликом є питання безпеки даних, захисту персональної інформації та дотримання нормативно-правових вимог. В умовах посилення регулювання у сфері кібербезпеки підприємства повинні враховувати не лише технологічні аспекти, але й юридичні наслідки впровадження цифрових технологій [15]. Соціальний аспект пов'язаний із ризиком витіснення традиційних професій та потребою в перекваліфікації кадрів.

Цифрова трансформація в промисловості не є лінійним процесом. Вона супроводжується численними викликами, які потребують комплексного підходу

до їх подолання. Сценарне моделювання у цьому контексті набуває особливого значення, оскільки дозволяє оцінювати можливі ризики, прогнозувати наслідки та формувати альтернативні шляхи впровадження цифрових стратегій.

## 1.2. Теоретичні підходи до сценарного моделювання в економічних дослідженнях

У сучасних умовах динамічного розвитку економіки та високої невизначеності зовнішнього середовища традиційні методи прогнозування втрачають свою ефективність. Це обумовлено тим, що класичні прогностичні моделі базуються на екстраполяції минулих тенденцій, що не завжди адекватно відображає майбутні зміни [16]. Саме тому у другій половині XX ст. у науковій практиці поширився метод сценарного моделювання, який дозволяє враховувати багатоваріантність можливих траєкторій розвитку подій.

Сценарне моделювання розглядається як методологія побудови альтернативних майбутніх станів системи на основі систематичного аналізу факторів впливу та їх можливих комбінацій [17]. На відміну від прогнозування, яке прагне визначити найбільш імовірний варіант розвитку, сценарне моделювання орієнтується на формування кількох сценаріїв, що відображають діапазон можливих результатів – від оптимістичного до песимістичного. Це дозволяє підвищити якість управлінських рішень і забезпечити гнучкість у стратегічному плануванні (табл. 1.3).

У науковій літературі сценарний підхід визначають як інструмент стратегічного аналізу, що поєднує кількісні та якісні методи дослідження [18]. Його застосування в економіці охоплює різні сфери: від макроекономічного прогнозування та оцінки регіонального розвитку до моделювання стратегій підприємств і галузей.

Таблиця 1.3 – Відмінності між прогнозуванням та сценарним моделюванням

| Критерій порівняння | Прогнозування | Сценарне моделювання |
|---|---|---|
| Основна мета | Визначити найбільш імовірний стан | Визначити діапазон можливих альтернативних станів |
| Методологія | Екстраполяція минулих тенденцій | Аналіз факторів, побудова альтернатив, оцінка ймовірностей |
| Результат | Один прогноз | Набір сценаріїв (оптимістичний, базовий, песимістичний тощо) |
| Використання в управлінні | Орієнтація на «єдиний варіант» | Забезпечення стратегічної гнучкості та адаптивності |

Застосування сценарного підходу в економічних дослідженнях особливо актуальне для аналізу процесів цифрової трансформації промислових підприємств. Це пояснюється високим рівнем невизначеності технологічного розвитку, швидкою зміною ринкових умов та потребою враховувати широкий спектр зовнішніх і внутрішніх факторів. У цьому контексті сценарне моделювання стає важливим інструментом не лише прогнозування, але й стратегічного управління. Логіка побудови сценарного моделювання представлена на рисунку 1.4.




Рисунок 1.4 – Логіка побудови сценарного моделювання

Сценарне моделювання є сучасним підходом до стратегічного аналізу, який дозволяє поєднати кількісні та якісні методи для побудови багатоваріантних моделей розвитку економічних систем. Його місце в економічних дослідженнях визначається здатністю забезпечити підприємства інструментами для адаптації до невизначеності та підвищення їхньої стійкості в умовах цифрової економіки.

Метод сценарного моделювання має багатий історичний розвиток, який розпочався у середині XX століття (рис. 1.5). Спочатку він використовувався у військовій сфері, а згодом був адаптований до економічних і бізнес-досліджень.

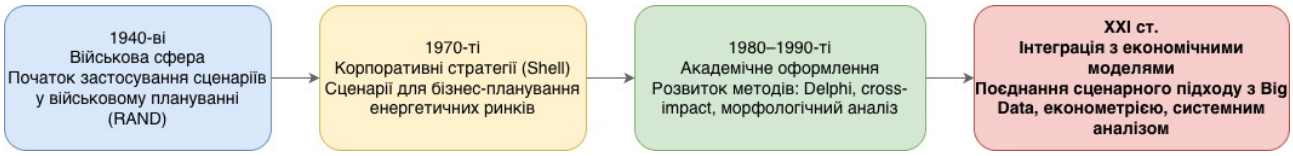



Рисунок 1.5 – Етапи еволюції сценарного моделювання

Перші підходи до сценарного аналізу виникли під час Другої світової війни в межах діяльності військових стратегічних штабів США. Вони були спрямовані на передбачення можливих дій супротивника та оцінку наслідків альтернативних стратегій [19]. Ці напрацювання стали основою для розвитку методології сценарного планування.

У 1960–1970-х роках сценарне моделювання почало активно впроваджуватись у бізнесі. Найбільш відомим прикладом є компанія Royal Dutch Shell, яка застосовувала сценарний підхід для прогнозування коливань на нафтовому ринку. Завдяки цьому корпорація успішно адаптувалась до нафтових криз 1970-х років, що стало класичним прикладом ефективності сценарного планування в умовах невизначеності [20].

З 1980-х років сценарне моделювання стало предметом активних академічних досліджень. У працях П. Шумейкера, Г. Райта та інших дослідників було систематизовано основні підходи, а також розроблено методики побудови

сценаріїв з урахуванням кількісних і якісних факторів [21]. В цей час формується тенденція поєднання сценарного підходу з економіко-математичними моделями.

У XXI столітті сценарне моделювання перетворилось на універсальний інструмент стратегічного аналізу. Його активно застосовують у прогнозуванні макроекономічних показників, управлінні ризиками, розробці стратегій цифрової трансформації підприємств і галузей [22]. Значну увагу приділяють інтеграції сценарного підходу з методами системної динаміки, агентного моделювання та багатокритеріального аналізу, що забезпечує комплексність оцінки майбутніх станів економічних систем.

Історична еволюція сценарного моделювання демонструє, що цей метод пройшов шлях від інструмента військових стратегів до ключового елементу економічних досліджень і стратегічного управління. Його здатність враховувати невизначеність і багатоваріантність робить його надзвичайно актуальним у сучасних умовах швидких технологічних та ринкових змін.

Сценарне моделювання має різноманітні форми та методологічні підходи, які відрізняються за ступенем формалізації, використаними методами та сферою застосування. У науковій літературі виділяють три основні підходи: інтуїтивно-логічний, аналітичний та комбінований (табл. 1.4). Окрім цього, у сучасних економічних дослідженнях дедалі більшого значення набуває кількісний сценарний аналіз, що базується на використанні економіко-математичних моделей і симуляцій [23].

1. Інтуїтивно-логічний підхід. Цей метод ґрунтується на експертних оцінках і використовується для побудови якісних сценаріїв розвитку системи. Він передбачає формування групи експертів, які визначають ключові фактори, оцінюють їх взаємозв’язки та формують альтернативні сценарії. Такий підхід особливо корисний у випадках високої невизначеності, коли кількісні дані обмежені [24].

2. Аналітичний підхід. Аналітичні методи базуються на систематичному аналізі даних, побудові матриць впливу та використанні формалізованих методів. Зокрема, застосовуються методи SWOT- та PEST-аналізу,

морфологічний аналіз, метод ключових факторів невизначеності. Цей підхід дозволяє структурувати інформацію й виявити найбільш важливі фактори для побудови сценаріїв [25].

Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика підходів до сценарного моделювання

| Підхід | Характеристика | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|---|
| Інтуїтивно-логічний | Базується на експертних оцінках | Простота, корисність за браку даних | Високий рівень суб'єктивності |
| Аналітичний | Використання структурних методів (SWOT, PEST, матриці) | Системність, можливість формалізації | Потреба у значному обсязі даних |
| Комбінований | Поєднання експертних і аналітичних підходів | Баланс якісних і кількісних аспектів | Складність організації |
| Кількісний сценарний аналіз | Використання економіко-математичних моделей | Точність, можливість кількісної оцінки результатів | Складність моделювання, висока потреба у даних |

3. Комбінований підхід. У практиці часто застосовується поєднання інтуїтивно-логічного та аналітичного методів. Наприклад, експертні оцінки можуть поєднуватись із формалізованими матрицями впливу чи аналізом чутливості. Це дозволяє знизити суб'єктивність та підвищити надійність результатів [26].

4. Кількісний сценарний аналіз. Сучасний розвиток цифрових технологій сприяв появі кількісних підходів до сценарного моделювання. Вони передбачають використання економіко-математичних моделей, системної динаміки, агентного моделювання, VAR- та DSGE-моделей для побудови сценаріїв розвитку економічних систем [27]. Такий підхід забезпечує високу точність і можливість кількісної оцінки наслідків кожного сценарію.

Сучасне сценарне моделювання в економічних дослідженнях базується на багатоваріантності підходів, які можна застосовувати залежно від цілей дослідження, доступності даних та рівня невизначеності. Поєднання різних

методів дозволяє досягти більшої глибини аналізу та сформувати обґрунтовані управлінські рішення.

Сценарне моделювання в економічних дослідженнях має свою специфіку, пов'язану з необхідністю поєднання стратегічного бачення майбутнього з кількісним аналізом економічних процесів. На відміну від загального прогнозування, воно передбачає комплексний розгляд різних варіантів розвитку економічних систем із врахуванням невизначеності, ризиків і взаємозв'язків між внутрішніми та зовнішніми факторами [27].

Однією з ключових методологічних особливостей є поєднання якісних і кількісних методів (табл.1.4). З одного боку, сценарне моделювання використовує експертні оцінки, SWOT- та PEST-аналіз для виявлення драйверів змін; з іншого – спирається на економіко-математичні моделі, системну динаміку та статистичні методи для формалізації сценаріїв [28]. Це забезпечує комплексність дослідження та можливість оцінювати не лише ймовірність, але й кількісні наслідки розвитку альтернатив.

Таблиця 1.5 – Методологічні особливості сценарного моделювання в економіці

| Особливість | Сутність | Значення для економічних досліджень |
|---|---|---|
| Поєднання якісних і кількісних методів | Використання експертних оцінок та математичного моделювання | Забезпечує комплексність та достовірність результатів |
| Інтеграція з ризик-менеджментом | Аналіз ймовірних ризиків та побудова адаптивних стратегій | Зменшує вразливість підприємств до невизначеності |
| Орієнтація на цифрову трансформацію | Оцінка сценаріїв впровадження цифрових технологій | Формування стратегій цифровізації та інноваційного розвитку |
| Багаторівневий характер | Використання на макро-, мезо- та мікрорівні | Універсальність підходу в різних масштабах економічних досліджень |

Другою особливістю є зв'язок сценарного моделювання з ризик-менеджментом. Сценарії дозволяють підприємствам не лише прогнозувати бажаний розвиток подій, але й оцінювати потенційні ризики, що виникають у

випадку несприятливих умов. У цьому контексті сценарний підхід використовується як інструмент адаптації до невизначеності та мінімізації негативних наслідків [29].

Третьою особливістю є орієнтація на стратегічне управління і цифрову трансформацію. В умовах цифрової економіки сценарії застосовуються для розробки стратегій розвитку підприємств, які враховують можливість технологічних проривів, зміни бізнес-моделей і вимог ринку. Зокрема, сценарне моделювання дозволяє оцінити ефективність різних варіантів впровадження цифрових технологій, визначити оптимальний темп цифровізації та передбачити економічний ефект від трансформації [30].

Важливим методологічним принципом є також багаторівневий характер сценаріїв. У макроекономічних дослідженнях вони використовуються для аналізу глобальних трендів і політичних ризиків, у мезоекономічних – для оцінки регіонального розвитку, а у мікроекономічних – для моделювання стратегій окремих підприємств [31]. Така багатогранність робить сценарний підхід універсальним інструментом у наукових і прикладних дослідженнях.

Таким чином, сценарне моделювання в економічних дослідженнях виступає не лише як метод прогнозування, а як інструмент стратегічного управління, що дозволяє інтегрувати різні методологічні підходи, оцінювати ризики та формувати ефективні стратегії цифрової трансформації. Його застосування забезпечує підприємствам стійкість до невизначеності та підвищує ефективність прийняття рішень.

## 1.3. Методичні основи оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації

У сучасних умовах швидкого розвитку цифрових технологій питання оцінки готовності підприємств до цифрової трансформації набуває особливої актуальності. Під готовністю розуміють інтегральну характеристику, яка відображає спроможність підприємства впроваджувати цифрові технології,

адаптувати бізнес-процеси та формувати нові бізнес-моделі для підвищення своєї конкурентоспроможності [32].

Науковці наголошують, що готовність підприємства до цифрової трансформації визначається не лише технічним рівнем оснащення, але й організаційними, кадровими, фінансовими та культурними аспектами [33]. Вона передбачає наявність відповідної IT-інфраструктури, компетентного персоналу, стратегічного бачення цифровізації та ресурсів для реалізації цифрових проєктів.

Важливим методологічним моментом є розмежування понять «цифрова зрілість» та «готовність до трансформації» (табл. 1.6). Якщо цифрова зрілість характеризує фактичний рівень впровадження цифрових технологій, то готовність відображає потенціал підприємства до подальшого розвитку в цьому напрямі [34] (рис. 1.6). Таким чином, оцінка готовності дає змогу визначити слабкі місця підприємства, сформувати дорожню карту цифрової трансформації та знизити ризики впровадження інновацій.

Таблиця 1.6 – Відмінності між поняттями «цифрова зрілість» та «готовність до цифрової трансформації»

| Критерій | Цифрова зрілість | Готовність до цифрової трансформації |
|---|---|---|
| Сутність | Поточний рівень використання цифрових технологій | Потенціал до впровадження та масштабування цифрових рішень |
| Орієнтація | Констатація фактів | Прогнозування можливостей розвитку |
| Метод оцінювання | Аналіз існуючих процесів і технологій | Визначення ресурсів, компетенцій та стратегій |
| Результат | Визначення стадії цифрового розвитку | Формування дорожньої карти цифрової трансформації |

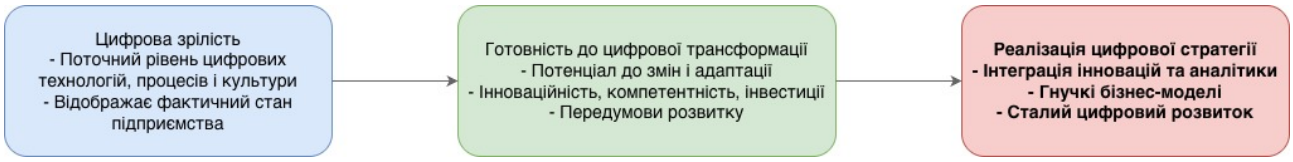



Рисунок 1.6 – Взаємозв’язок понять «цифрова зрілість» і «готовність до цифрової трансформації»

У сучасних дослідженнях існує низка підходів до визначення готовності підприємств до цифрової трансформації. Найбільш поширеними є:

– індексні моделі (формування інтегрального показника на основі вагових коефіцієнтів за окремими критеріями);

– рівневі моделі цифрової зрілості (визначення стадії розвитку підприємства – від базового рівня до «цифрового лідера»);

– опитувально-експертні методики (використання анкетування та експертних оцінок для виявлення готовності).

Таким чином, готовність до цифрової трансформації є ключовим параметром стратегічного розвитку підприємства, що визначає не лише його поточний стан, але й можливість адаптації до нових умов цифрової економіки. Її оцінка дозволяє підприємствам зменшити невизначеність, визначити пріоритети інвестування та підвищити ефективність управління змінами.

У науковій літературі представлено різні методологічні підходи до оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації. Їх можна поділити на індексні моделі**,** рівневі моделі цифрової зрілості та опитувально-експертні методики (табл. 1.7). Кожен підхід має власні переваги та обмеження, що визначає сферу його практичного застосування.

Таблиця 1.7 – Порівняння методологічних підходів до оцінювання готовності

| Підхід | Характеристика | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|---|
| Індексні моделі | Інтегральний показник на основі критеріїв | Кількісна вимірюваність, можливість порівняння | Складність визначення вагових коефіцієнтів |
| Рівневі моделі зрілості | Класифікація підприємств за рівнями | Простота інтерпретації, стратегічна орієнтація | Узагальненість, обмежена деталізація |
| Опитувально-експертні | Аналіз на основі анкетування персоналу | Глибоке вивчення внутрішніх процесів | Суб’єктивність, залежність від якості опитування |

1. Індексні моделі. Індексний підхід ґрунтується на формуванні інтегрального показника, який узагальнює готовність підприємства за кількома

критеріями. Для цього визначається система показників (ІТ-інфраструктура, цифрові компетенції персоналу, наявність цифрової стратегії, фінансові ресурси тощо), кожен з яких отримує ваговий коефіцієнт. Далі обчислюється зведений індекс, який характеризує рівень готовності підприємства [35]. Перевага цього підходу – кількісна вимірюваність, що дозволяє проводити порівняльний аналіз підприємств. Недоліком є складність у визначенні вагових коефіцієнтів, які часто залежать від суб'єктивних експертних оцінок.

2. Рівневі моделі цифрової зрілості. У рамках рівневих моделей підприємства класифікують за рівнем розвитку цифрових технологій. Найпоширенішою є п'ятирівнева модель цифрової зрілості, що включає:

Рівень 1 – Початковий (відсутність стратегії, мінімальне використання ІТ);

Рівень 2 – Фрагментарний (окремі цифрові проєкти без інтеграції);

Рівень 3 – Інтегрований (цифрові рішення інтегровані в ключові бізнес-процеси);

Рівень 4 – Керований (системний підхід до цифровізації, наявність стратегії);

Рівень 5 – Лідер цифрової трансформації (повністю цифровізовані бізнес-моделі, інноваційна культура) [34].

Ця модель зручна для стратегічного управління, адже дозволяє підприємству визначити свій поточний рівень і сформувати дорожню карту переходу на наступний етап.

3. Опитувально-експертні методики. Опитувальні методики базуються на зборі інформації від керівників і персоналу підприємства шляхом анкетування. Зібрані дані аналізуються за системою критеріїв, після чого формуються висновки щодо рівня готовності. Перевага цього підходу полягає в можливості отримання детальної інформації про внутрішні процеси та управлінські практики. Водночас обмеженням є суб'єктивність відповідей і залежність результатів від якості опитувальника [36].

Таким чином, методологічні підходи до оцінювання готовності підприємств мають різний рівень формалізації та деталізації. У практичних

дослідженнях доцільним є використання комбінованого підходу, що дозволяє інтегрувати кількісні й якісні методи та забезпечити найбільш обґрунтовані результати.

У процесі оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації важливим етапом є визначення системи критеріїв та показників, що дозволяють комплексно оцінити як поточний стан підприємства, так і його потенціал до впровадження цифрових технологій. У наукових дослідженнях виділяють кілька ключових напрямів оцінки: технологічний, кадровий, фінансовий, організаційний та стратегічний [35] (табл. 1.8, рис. 1.7).

Таблиця 1.8 – Основні критерії та показники оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації

| Критерій | Показники оцінки | Очікуваний результат для підприємства |
|---|---|---|
| Технологічний | Рівень автоматизації, наявність ERP/CRM, використання IoT, Big Data, хмарних рішень | Гнучка та масштабована IT-інфраструктура |
| Кадровий | Рівень цифрових компетенцій, наявність програм підвищення кваліфікації, цифрове лідерство | Підготовлений персонал, здатний реалізовувати цифрові зміни |
| Фінансовий | Інвестиції в IT, рентабельність, доступ до фінансування | Фінансова спроможність підтримувати цифрову трансформацію |
| Організаційний | Адаптивність бізнес-процесів, гнучкі методи управління, інноваційна культура | Гнучка організаційна структура, що підтримує інновації |
| Стратегічний | Наявність цифрової стратегії, дорожньої карти, KPI | Системне управління цифровими змінами |

Оцінка IT-інфраструктури є фундаментом готовності підприємства до цифрової трансформації. Вона включає рівень автоматизації виробничих процесів, використання ERP- та CRM-систем, інтеграцію інтелектуальних сенсорів, застосування хмарних сервісів та технологій великих даних [33]. Високий рівень технологічної бази дозволяє підприємству швидше впроваджувати інноваційні рішення та масштабувати цифрові проєкти.

Успіх цифрової трансформації безпосередньо залежить від кваліфікації персоналу. Тому оцінюється рівень цифрових компетенцій працівників,

наявність програм навчання, здатність персоналу до адаптації та інновацій [36]. Особливу увагу приділяють цифровим лідерам – топ-менеджерам, які формують стратегічне бачення цифровізації.




Рисунок 1.7 – Система критеріїв оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації

Реалізація цифрової трансформації потребує значних інвестицій, тому важливо оцінювати фінансові можливості підприємства. Це передбачає аналіз обсягу інвестицій у цифрові проєкти, структури витрат на IT, а також рівня рентабельності та можливості залучення зовнішнього фінансування [37].

Цей блок оцінює здатність підприємства адаптувати свої бізнес-процеси до цифрових змін. Сюди входять рівень інтеграції цифрових технологій у бізнес-модель, використання гнучких методів управління (Agile, Lean), а також організаційна культура, що сприяє інноваціям [34].

Наявність чіткої цифрової стратегії є одним із найважливіших індикаторів готовності. Підприємства, які мають стратегічні документи, дорожні карти цифровізації та KPI для цифрових проєктів, значно підвищують шанси на успішну трансформацію [38].

Визначення критеріїв і показників дозволяє сформувати комплексну систему оцінювання, яка враховує різні аспекти діяльності підприємства.

Використання такої системи є передумовою для обґрунтування рішень щодо вибору стратегії цифрової трансформації та мінімізації пов’язаних із нею ризиків.

На сьогодні у світовій та європейській практиці розроблено низку методик оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації. Вони спрямовані на формування комплексного уявлення про поточний стан підприємства, визначення його цифрової зрілості та потенціалу для впровадження інноваційних технологій. Серед найбільш відомих методик виділяють моделі IMPULS (Німеччина), Deloitte Digital Maturity Model, Forrester Digital Maturity Model та PwC Digital IQ (табл.1.9).

Таблиця 1.9 – Порівняння поширених методик оцінювання готовності до цифрової трансформації

| Методика | Основні виміри аналізу | Переваги | Обмеження |
|---|---|---|---|
| IMPULS (Німеччина) | Стратегія, процеси, інфраструктура, працівники, продукти | Простота застосування у промисловості | Орієнтована на виробничий сектор |
| Deloitte DMM | Клієнти, стратегія, технології, операції, організація | Комплексність, практична дорожня карта | Висока вартість впровадження |
| Forrester DMM | Середовище, культура, технології, процеси | Акцент на культурі та управлінні | Менше уваги до технічних аспектів |
| PwC Digital IQ | Інновації, компетенції, управління даними | Фокус на «цифровому інтелекті» організації | Узагальненість результатів |

1. Модель IMPULS (Німеччина). Модель була розроблена *Fraunhofer Institut* спільно з *Impuls-Stiftung* для оцінювання готовності промислових підприємств до впровадження концепції Індустрії 4.0 [33]. Вона базується на п’яти вимірах: стратегія та організація, фабричні процеси, інфраструктура, працівники, продукти та послуги. За кожним виміром підприємство оцінюється за шкалою зрілості від 1 до 5. Перевага цієї моделі – її практична орієнтація та широке застосування у німецькій промисловості.

2. Deloitte Digital Maturity Model. Модель Deloitte орієнтована на комплексний аналіз цифрових компетенцій компанії. Вона охоплює п’ять сфер: клієнти, стратегія, технології, операції та організація [39]. Методика передбачає

оцінку за допомогою інтегральних показників та визначає сильні й слабкі сторони підприємства. Вона часто використовується для формування дорожніх карт цифрової трансформації та розробки індивідуальних стратегій.

3. Forrester Digital Maturity Model. Forrester пропонує підхід, що базується на оцінці компанії за чотирма рівнями: середовище, культура, технології, організаційні процеси [34]. Особливістю цієї моделі є акцент на організаційній культурі та управлінських практиках, що робить її корисною для аналізу підприємств із високим рівнем невизначеності.

4. PwC Digital IQ. Модель PwC (PricewaterhouseCoopers) визначає готовність підприємств через поняття «цифрового інтелекту». Вона оцінює здатність організації інтегрувати цифрові інновації у свою діяльність, розвивати цифрові компетенції працівників та використовувати дані для прийняття рішень [40].

Застосування цих моделей у промислових підприємствах України має важливе значення для визначення їхнього місця у глобальній цифровій екосистемі. Використання міжнародних методик дозволяє не лише оцінити внутрішні можливості підприємств, але й забезпечити їхню порівнянність із зарубіжними компаніями. Це особливо актуально для вітчизняних підприємств, які прагнуть інтегруватися до глобальних ланцюгів доданої вартості та залучати міжнародних партнерів.

Таким чином, практичні методики оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації виступають ефективним інструментом для стратегічного планування та формування дорожніх карт цифровізації. Використання адаптованих версій міжнародних моделей у поєднанні з національними особливостями може стати основою для підвищення конкурентоспроможності українських промислових підприємств у цифровій економіці.

## 1.4. Висновки до розділу 1

У першому розділі було узагальнено теоретичні основи цифрової трансформації та розкрито методологічні підходи до її оцінювання в промисловості. Аналіз літературних джерел засвідчив, що цифрова трансформація є не просто процесом автоматизації чи цифровізації окремих бізнес-процесів, а комплексним явищем, яке охоплює стратегічні, технологічні, організаційні та соціально-економічні аспекти діяльності підприємства.

Розгляд еволюції концепції цифрової трансформації дав змогу встановити її зв’язок із попередніми індустріальними революціями. Від механізації та електрифікації виробництва промисловість поступово перейшла до етапу Індустрії 4.0, що характеризується широким впровадженням кіберфізичних систем, Інтернету речей, великих даних і штучного інтелекту. Сучасні тенденції вказують на формування концепції Індустрії 5.0, де акцент переноситься на людиноцентричність, сталий розвиток і синергію технологій з людським капіталом.

Аналіз сценарного підходу показав, що сценарне моделювання є дієвим інструментом стратегічного планування, особливо в умовах високої невизначеності. Його застосування дозволяє враховувати багатоваріантність можливих сценаріїв розвитку підприємств, поєднувати кількісні й якісні методи аналізу та інтегрувати ризик-менеджмент у систему прийняття рішень. Це робить його надзвичайно актуальним для дослідження цифрової трансформації, оскільки процеси цифровізації мають непередбачуваний характер і залежать від численних внутрішніх та зовнішніх факторів.

Особлива увага у розділі була приділена методичним основам оцінювання готовності підприємств до цифрової трансформації. Було встановлено, що готовність не є тотожним поняттям цифрової зрілості, адже вона відображає потенціал підприємства до впровадження та масштабування цифрових рішень.

# РОЗДІЛ 2
# МОДЕЛЬНИЙ АПАРАТ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

## 2.1. Концептуальна побудова сценаріїв цифрової трансформації промислових підприємств

Сценарне моделювання цифрової трансформації промислових підприємств передбачає систематизацію ключових факторів впливу, які визначають траєкторію розвитку підприємства. Для формування сценаріїв необхідно виділити основні драйвери трансформації, групи стейкхолдерів та можливі траєкторії змін. На цьому етапі створюється концептуальна модель, яка інтегрує технологічні, економічні та організаційні аспекти цифровізації.

У науковій літературі підкреслюється, що побудова сценаріїв має ґрунтуватися на поєднанні кількісних та якісних методів: кількісні забезпечують оцінку параметрів розвитку (витрати, продуктивність, фінансові результати), тоді як якісні дозволяють враховувати фактори невизначеності та поведінкові аспекти [41]. У випадку промислових підприємств критично важливим є врахування таких змінних, як рівень автоматизації, ступінь інтеграції цифрових технологій у бізнес-процеси, кадрові компетенції та фінансова спроможність.

Для концептуального опису сценаріїв цифрової трансформації використовується матриця сценарного простору, де за осями визначаються два ключові фактори невизначеності, наприклад:

– рівень технологічного розвитку (низький – високий);

– інтенсивність інвестицій у цифровізацію (низька – висока).

У результаті формується чотири базові сценарії розвитку (рис. 2.1), кожен із яких відображає різні комбінації факторів.

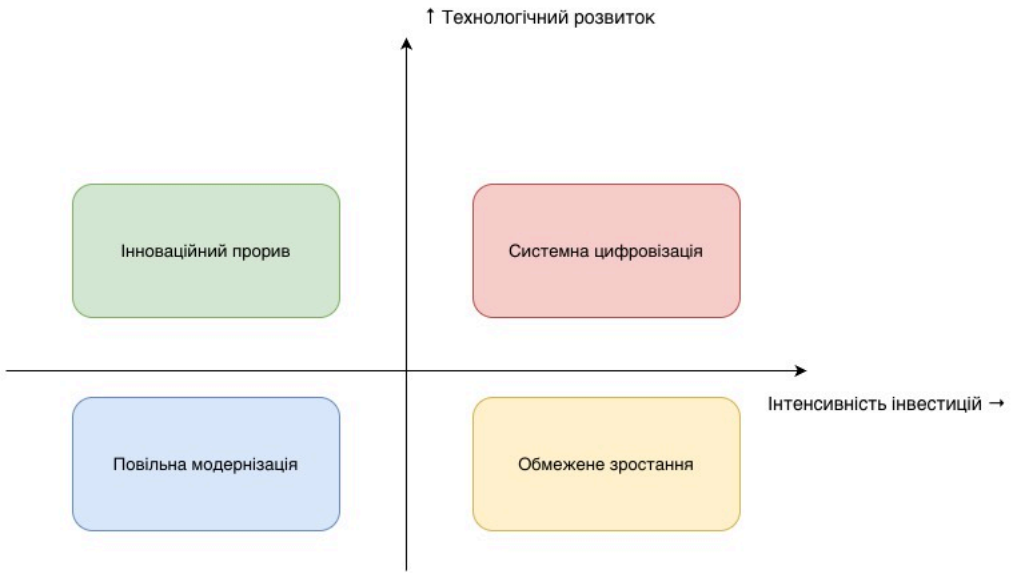



Рисунок 2.1 – Сценарний простір цифрової трансформації промислового підприємства

Для кращої структуризації сценаріїв доцільно представити їхні характеристики у вигляді таблиці.

Таблиця 2.1 – Характеристика базових сценаріїв цифрової трансформації

| Сценарій | Технологічний розвиток | Інвестиції у цифровізацію | Характеристика |
|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | Низький | Низькі | Локальна автоматизація, відсутність стратегії цифровізації |
| Інноваційний прорив | Високий | Високі | Активна інтеграція IT, формування «розумних фабрик», R&D-проекти |
| Обмежене зростання | Високий | Низькі | Використання окремих технологій без комплексної трансформації |
| Системна цифровізація | Низький | Високі | Інвестиції переважно у зовнішні рішення, залежність від партнерів |

Запропонована схема дозволяє створити концептуальну основу для подальшої формалізації сценаріїв за допомогою економіко-математичних моделей. Підприємство може не лише описати альтернативні варіанти майбутнього розвитку, але й закласти підґрунтя для кількісних розрахунків економічної ефективності кожного сценарію.

Формування сценаріїв цифрової трансформації промислових підприємств потребує не лише якісного опису можливих траєкторій розвитку, але й

закладання у модель конкретних параметрів, що дають змогу здійснити подальші кількісні розрахунки. У цьому контексті ключовими змінними виступають: рівень інвестицій у цифрові технології, темпи зростання продуктивності, частка цифрових процесів у структурі виробництва та економічний ефект від впровадження інновацій [41].

Вибір параметрів сценарного моделювання.

Інвестиції у цифровізацію (млн грн на рік). Визначають фінансову спроможність підприємства підтримувати процес цифрової трансформації.

Приріст продуктивності (%). Відображає економічну віддачу від впроваджених цифрових рішень.

Частка цифрових процесів у виробництві (%). Дає змогу оцінити рівень інтеграції ІТ-рішень у бізнес-модель.

Економічний ефект (млн грн). Різниця між приростом доходу та додатковими витратами на цифровізацію.

У результаті комбінації параметрів формується чотири базові сценарії, які відображають різні варіанти розвитку промислового підприємства залежно від інтенсивності інвестицій та рівня технологічного розвитку.

1. Сценарій «Повільна модернізація» відображає мінімальні інвестиції та незначні зміни продуктивності. Ефект досягається переважно за рахунок локальної автоматизації та цифровізації допоміжних процесів.

2. «Інноваційний прорив» передбачає радикальне зростання інвестицій, що забезпечує значний приріст продуктивності. Це відповідає стратегії «лідерів цифровізації», які орієнтуються на створення «розумних фабрик».

3. «Обмежене зростання» показує, що навіть за високого рівня технологічного розвитку, але обмежених інвестицій, підприємство не може досягти значного економічного ефекту.

4. «Системна цифровізація» поєднує середній рівень інвестицій з комплексним підходом до впровадження ІТ, що забезпечує збалансований результат між витратами і доходами.

Використання кількісних параметрів дозволяє не лише описати сценарії, але й задати їхню економічну вимірність. Це є базою для подальшої формалізації моделей у вигляді математичних залежностей, що буде розглянуто у наступних підпунктах.

Кожен із чотирьох сценаріїв («Повільна модернізація», «Обмежене зростання», «Системна цифровізація», «Інноваційний прорив») може бути описаний відповідними значеннями параметрів *I*, *P*, *CI*. Таким чином, модель дозволяє кількісно обчислити економічний ефект для кожного сценарію, а також порівняти їх між собою.

Ця модель є універсальною та дає змогу адаптувати її під конкретне промислове підприємство.

Розроблена система сценаріїв цифрової трансформації дозволяє поєднати якісні характеристики альтернативних траєкторій розвитку з кількісними параметрами, що формують базу для математичного моделювання. Ключова особливість такого підходу полягає у багатовимірності оцінювання: кожен сценарій визначається комбінацією інвестиційних зусиль, змін у продуктивності праці та частки цифрових процесів у структурі виробництва.

Інвестиційний параметр (*I*) задає фінансову траєкторію цифровізації.

Приріст продуктивності (*P*) визначає економічну віддачу від упроваджених технологій.

Частка цифрових процесів (*C*) характеризує структурний рівень інтеграції цифрових рішень.

Економічний ефект (*E*) обчислюється за допомогою економіко-математичної моделі, що враховує еластичність кожного з факторів.

Таким чином, побудовані сценарії можна розглядати як концептуальну рамку для економічного аналізу. Сценарна рамка цифрової трансформації промислового підприємства представлена на рисунку 2.2.




Рисунок 2.2 – Сценарна рамка цифрової трансформації промислового підприємства

Отже, сформовано концептуально-методологічну основу сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств. Сценарна рамка поєднує якісні та кількісні виміри, закладаючи основу для проведення розрахунків ефективності цифрової трансформації у практичній частині дослідження.

## 2.2. Формалізація економіко-математичних моделей сценарного аналізу

Формалізація сценарного аналізу цифрової трансформації промислових підприємств передбачає перехід від описових характеристик сценаріїв до побудови економіко-математичних моделей, що дозволяють кількісно оцінити результати впровадження різних траєкторій цифровізації. У науковій літературі підкреслюється, що сценарні методи в економіці набувають значення лише тоді, коли вони базуються на строгих математичних залежностях, що враховують взаємодію інвестиційних, виробничих та організаційних факторів [42].

Постановка задачі передбачає опис ключових змінних (табл.2.2):

$I$ – обсяг інвестицій у цифрову трансформацію (млн грн/рік);

$P$ – приріст продуктивності праці (%);

$C$ – частка цифрових процесів у виробництві (%);

$Q$ – обсяг випуску продукції (тис. од. або млн грн);

$R$ – дохід від реалізації продукції (млн грн/рік);

$E$ – економічний ефект цифрової трансформації (млн грн/рік).

Таблиця 2.2 – Основні змінні та параметри економіко-математичної моделі

| Позначення | Економічний зміст | Одиниця виміру |
|---|---|---|
| $I$ | Обсяг інвестицій у цифровізацію | млн грн/рік |
| $P$ | Приріст продуктивності праці | % |
| $C$ | Частка цифрових процесів у виробництві | % |
| $Q$ | Обсяг випуску продукції | тис. од. / млн грн |
| $R$ | Дохід від реалізації продукції | млн грн/рік |
| $E$ | Економічний ефект цифрової трансформації | млн грн/рік |
| $Z_c$ | Витрати на утримання цифрової інфраструктури | млн грн/рік |

Залежність між цими змінними можна виразити через базову виробничо-економічну функцію:

$$R = Q \cdot p, \tag{2.1}$$

де $p$ – середня ціна одиниці продукції. Приріст доходу у результаті цифровізації можна подати як:

$$\Delta R = R_0 \cdot \frac{P}{100}, \tag{2.2}$$

де $R_0$ – базовий дохід підприємства до цифровізації.

Тоді економічний ефект сценарію визначається рівнянням:

$$E = \Delta R - I - Z_c, \tag{2.3}$$

де $Z_c$ – додаткові витрати на утримання та обслуговування цифрової інфраструктури (млн грн/рік).

Ця модель задає загальну рамку для формалізації сценаріїв, у якій кількісні параметри (інвестиції, приріст продуктивності, частка цифрових процесів) визначають кінцевий економічний результат.

Перший етап формалізації передбачає створення математичної структури, яка дозволяє поєднати базові параметри цифрової трансформації з економічними результатами. У подальших частинах підпункту ця модель буде деталізована через виробничі функції, коефіцієнти еластичності та сценарні матриці результатів.

Для побудови сценарних моделей цифрової трансформації доцільним є використання виробничих функцій, які відображають залежність обсягів випуску продукції від залучених ресурсів та рівня технологічного розвитку. Традиційно в економіці застосовується функція Кобба–Дугласа, яка може бути адаптована для врахування фактора цифровізації [50].

Розширена виробнича функція. У класичному вигляді функція Кобба–Дугласа має вигляд:

$$\boldsymbol{Q = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}}, \tag{2.4}$$

де:

$Q$ – обсяг випуску продукції,

$K$ – капітал,

$L$ – праця,

$A$ – коефіцієнт технологічного рівня,

$\alpha,\beta$ – еластичності випуску за капіталом і працею.

Для сценарного аналізу цифрової трансформації пропонується розширити модель, додавши цифровий фактор $D$, що відображає рівень цифрової інтеграції (наприклад, частка цифрових процесів у виробництві, %):

$$Q = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot D^{\gamma}, \quad (2.5)$$

де γ – коефіцієнт еластичності випуску за цифровим фактором.

Інтерпретація цифрового фактора. Змінна *D* інтегрує декілька аспектів:

– інтенсивність використання цифрових технологій (ERP, CRM, IoT, Big Data),

– рівень автоматизації виробничих операцій,

– частку цифрових бізнес-процесів у загальній структурі підприємства.

У сценарному аналізі ця змінна виступає ключовою, адже саме цифровізація визначає відмінність між традиційними і трансформаційними траєкторіями розвитку підприємства [51].

Формалізація сценаріїв. У межах сценарного підходу кожен із чотирьох сценаріїв («Повільна модернізація», «Обмежене зростання», «Системна цифровізація», «Інноваційний прорив») визначається відповідними параметрами змінної *D* та коефіцієнтів еластичності (табл.2.3 ).

Таблиця 2.3 – Характеристика сценаріїв цифрової трансформації у моделі Сценарна рамка цифрової трансформації промислового підприємства

Кобба–Дугласа

| Сценарій | Рівень цифрового фактора *D*, % | Еластичність γ | Очікуваний вплив на випуск *Q* |
|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 15–20 | 0.05–0.1 | Незначний приріст виробництва |
| Обмежене зростання | 30–35 | 0.1–0.15 | Локальне підвищення продуктивності |
| Системна цифровізація | 40–50 | 0.15–0.25 | Стабільне зростання випуску |
| Інноваційний прорив | 60–70 | 0.25–0.35 | Високий темп зростання продукції |

Використання розширеної виробничої функції дає змогу кількісно описати вплив цифрової трансформації на обсяг випуску підприємства. Це створює

основу для подальших розрахунків у рамках сценарного аналізу, де параметри будуть варіюватися залежно від сценаріїв розвитку.

Використання розширеної виробничої функції дозволяє інтегрувати цифровий фактор у систему сценарного аналізу. Проте для практичного застосування у подальших розрахунках необхідна її математична деталізація шляхом введення коефіцієнтів еластичності та виокремлення залежності економічного ефекту від інвестицій у цифровізацію.

У класичних дослідженнях значення α+β≈1, що відповідає умовам постійної віддачі від масштабу [50]. У випадку розширення моделі цифровим фактором це співвідношення може перевищувати одиницю, що відображає ефект зростаючої віддачі завдяки цифровим технологіям [51].

Вплив інвестицій на цифровий фактор. Цифровий фактор *D* безпосередньо залежить від обсягу інвестицій у цифровізацію. Це можна формалізувати через функцію зменшуваної граничної віддачі:

$$D = \delta \cdot \ln(1 + I), \tag{2.6}$$

де δ – коефіцієнт технологічної ефективності інвестицій. Така залежність показує, що кожна додаткова одиниця інвестицій у цифровізацію дає позитивний, але поступово зменшуваний ефект.

Економічний ефект сценаріїв. Економічний ефект від цифрової трансформації визначається як різниця між додатковим доходом і витратами на цифровізацію:

$$E = \left(A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot D^{\gamma} - Q_0\right) \cdot p - I - Z_c \tag{2.7}$$

де $Q_0$ – базовий обсяг випуску без цифрової трансформації.

Еластичності цифрового фактора (табл. 2.4). На основі узагальнених емпіричних досліджень [52; 53] можна задати орієнтовні діапазони коефіцієнтів:

γ=0.1–0.3 для традиційних підприємств,

γ=0.3–0.5 для підприємств, що активно інтегрують цифрові технології.

Це означає, що 10%-не зростання частки цифрових процесів у виробництві може забезпечити від 1% до 5% приросту випуску залежно від сценарію.

Таблиця 2.4 – Еластичності виробничої функції з урахуванням цифрового фактора

| Параметр | Економічний зміст | Орієнтовний діапазон |
|---|---|---|
| α | Еластичність випуску за капіталом | 0.3 – 0.5 |
| β | Еластичність випуску за працею | 0.4 – 0.6 |
| γ | Еластичність випуску за цифровим фактором | 0.1 – 0.5 |

Сценарна інтерпретація:

– у сценарії «Повільна модернізація» γ набуває нижчого значення (0.1–0.15), що відображає слабкий вплив цифровізації.

– у сценарії «Обмежене зростання» коефіцієнт підвищується (0.15–0.25), проте ефект обмежений через низький рівень інвестицій.

– у сценарії «Системна цифровізація» γ сягає 0.25–0.35, що забезпечує стійкий приріст продуктивності.

– у сценарії «Інноваційний прорив» значення коефіцієнта може перевищувати 0.4, що відповідає експоненціальному ефекту цифрових технологій.

Математична деталізація моделі дозволяє врахувати взаємозалежність інвестицій у цифровізацію, рівня цифрових процесів і кінцевого економічного результату. Це створює основу для сценарних розрахунків у практичній частині дослідження, де параметри будуть адаптовані до умов конкретного підприємства.

Сценарне моделювання цифрової трансформації передбачає не лише формалізацію залежностей, а й кількісну оцінку можливих результатів для різних сценаріїв. Задана у попередніх частинах модель дозволяє сформувати сценарну матрицю результатів, яка демонструє, як поєднання інвестицій та рівня цифрової інтеграції впливає на економічний ефект.

Алгоритм побудови матриці:

1. Задаються параметри виробничої функції $Q = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot D^{\gamma}$.

2. Визначається базовий випуск продукції $Q_0$ та базовий дохід $R_0$.

3. Для кожного сценарію фіксуються рівні інвестицій $I$ та цифрового фактора $D$.

4. Розраховується приріст випуску та доходу, після чого визначається економічний ефект: $E = (Q - Q_0) \cdot p - I - Z_c$.

Сценарна матриця результатів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Сценарна матриця економічного ефекту цифрової трансформації

| Сценарій | Інвестиції $I$, млн грн/рік | Цифровий фактор $D$, % | Еластичність $\gamma$ | Приріст випуску, % | Очікуваний економічний ефект $E$, млн грн/рік |
|---|---|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 5–10 | 15–20 | 0.1–0.15 | 2–3 | 8–12 |
| Обмежене зростання | 15–20 | 30–35 | 0.15–0.25 | 5–7 | 20–30 |
| Системна цифровізація | 30–40 | 40–50 | 0.25–0.35 | 8–12 | 35–50 |
| Інноваційний прорив | 50–70 | 60–70 | 0.35–0.45 | 15–20 | 80–120 |

Інтерпретація матриці:

1. Повільна модернізація характеризується низькими інвестиціями і мінімальним ефектом, що не змінює стратегічної позиції підприємства.

2. Обмежене зростання показує, що навіть за високого рівня технологічного розвитку обмежене фінансування знижує результативність.

3. Системна цифровізація відображає збалансований сценарій, коли інвестиції середнього рівня поєднуються з комплексним впровадженням цифрових рішень, забезпечуючи стійкий економічний ефект.

4. Інноваційний прорив дає максимальний ефект, проте потребує значних ресурсів і супроводжується високим рівнем ризику.

Сценарна матриця результатів дозволяє:

– кількісно оцінити альтернативні траєкторії розвитку,

– визначити «цінову вартість» переходу від одного сценарію до іншого,

– окреслити стратегічні орієнтири для промислового підприємства залежно від його фінансових і організаційних можливостей.

Таким чином, було здійснено формалізацію економіко-математичних моделей сценарного аналізу.

## 2.3. Методи оцінювання ефективності реалізації сценаріїв цифрової трансформації

Оцінювання ефективності реалізації сценаріїв цифрової трансформації є ключовим етапом сценарного аналізу, оскільки саме воно дозволяє визначити, який із можливих варіантів розвитку забезпечує найбільшу економічну віддачу для підприємства. У наукових дослідженнях наголошується, що для цього доцільно використовувати поєднання традиційних фінансово-економічних методів (*NPV*, *IRR*, *ROI*, період окупності) та інтегральних індексів цифрової зрілості, що враховують нематеріальні вигоди [50].

Постановка задачі. Нехай підприємство має декілька сценаріїв цифрової трансформації ($S_1$,$S_2$,$S_3$,$S_4$) які відрізняються рівнем інвестицій $I$, очікуваним приростом продуктивності $P$, часткою цифрових процесів $C$ та економічним ефектом $E$. Завдання оцінювання ефективності полягає у виборі найоптимальнішого сценарію за сукупністю показників:

1. Фінансові показники – характеризують економічну доцільність (*NPV*, *IRR*, *ROI*).

2. Інтегральні показники ефективності – відображають співвідношення економічного ефекту до витрат на цифровізацію.

3. Нематеріальні ефекти – включають зростання цифрових компетенцій, підвищення гнучкості бізнес-моделі та посилення конкурентних позицій [51].

Базові методи оцінювання:

1. Чистий приведений дохід (*NPV*):

$$NPV = \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (2.8)$$

де

$CF_t$ – грошові потоки у період *t*;

$r$ – ставка дисконту;

$I_0$ – початкові інвестиції.

2. Внутрішня норма прибутковості (*IRR*): Визначається як таке значення ставки дисконту $r^*$, за якого *NPV=0*.

3. Індекс прибутковості (*PI*):

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I_0}, \quad (2.9)$$

що показує відносну ефективність інвестицій у цифрову трансформацію.

4. Рентабельність інвестицій (ROI):

$$ROI = \frac{E}{I} \cdot 100\%. \quad (2.10)$$

Ці показники дозволяють зіставити витрати та результати для кожного сценарію, сформувавши основу для вибору оптимального (табл.2.6).

Перший крок у формуванні системи оцінювання полягає у визначенні фінансово-економічних показників, які дозволяють перевести сценарії у площину кількісного аналізу.

Оцінювання ефективності сценаріїв цифрової трансформації здійснюється у декілька послідовних етапів:

1. Збір вихідних даних. Для кожного сценарію визначаються:

– обсяг інвестицій $I_0$;

Таблиця 2.6 – Основні методи оцінювання ефективності сценаріїв цифрової трансформації

| Метод | Формула | Інтерпретація результату |
|---|---|---|
| Чистий приведений дохід (NPV) | $\sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$ | Додана вартість, створена сценарієм |
| Внутрішня норма прибутковості (IRR) | $\exists r^* \; NPV = 0$ | Гранична прибутковість інвестицій |
| Індекс прибутковості (PI) | $\frac{\sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I_0}$ | Відносна ефективність інвестицій |
| Рентабельність інвестицій (ROI) | $\frac{E}{I} \cdot 100\%$ | Прямий економічний ефект від інвестицій |

– прогнозовані грошові потоки $CF_t$ у кожному періоді *t*;

– додаткові операційні витрати, пов'язані з цифровізацією ($Z_c$);

– ставка дисконту $r$, яка відображає вартість капіталу підприємства.

2. Розрахунок показників ефективності:

– чистий приведений дохід (*NPV*);

– внутрішня норма прибутковості (*IRR*);

– рентабельність інвестицій (*ROI*);

– індекс прибутковості (*PI*).

3. Порівняння результатів для сценаріїв. На цьому етапі будується матриця показників, яка дозволяє визначити сценарій із найвищою економічною віддачею.

4. Розрахункова ілюстрація для сценаріїв.

Для чотирьох сценаріїв цифрової трансформації («Повільна модернізація», «Обмежене зростання», «Системна цифровізація», «Інноваційний прорив») можна задати орієнтовні параметри: інвестиції $I_0$, млн грн; прогнозований щорічний грошовий потік $CF_t$, млн грн; горизонт планування T=5 років; ставка дисконту *r=10%.*

Фінансові методи дають змогу об’єктивно оцінити та порівняти сценарії цифрової трансформації, створюючи основу для прийняття стратегічних управлінських рішень.

Фінансові методи (*NPV*, *IRR*, *ROI*) є необхідним, але не достатнім інструментарієм для оцінки ефективності сценаріїв цифрової трансформації. Цифровізація промислових підприємств генерує не лише прямі економічні вигоди, але й нематеріальні ефекти: підвищення рівня цифрової зрілості, розвиток компетенцій персоналу, оптимізацію бізнес-процесів, зміцнення інноваційного потенціалу [54]. Для врахування цих ефектів доцільно використовувати інтегральні показники, які поєднують кількісні та якісні характеристики.

Індекс цифрової зрілості (Digital Maturity Index, DMI). Одним із найпоширеніших показників є індекс цифрової зрілості (DMI), який оцінює здатність підприємства ефективно використовувати цифрові технології. Загальний індекс може бути визначений як середньозважене значення за ключовими блоками [55]:

$$DMI = \sum_{i=1}^{n} \omega_i \cdot d_i, \tag{2.11}$$

де

$d_i$ – оцінка за *i*-м напрямом (технології, процеси, організація, кадри);

$\omega_i$ – вага напряму, що відображає його значимість.

Коефіцієнт ефективності цифрових інвестицій (*Digital ROI*, *DROI*). Для поєднання фінансових і нефінансових результатів можна застосовувати коефіцієнт Digital ROI (DROI), що показує, яку частку економічного ефекту формують саме цифрові компоненти трансформації:

$$DROI = \frac{E_{digital}}{I} \cdot 100\%, \quad (2.12)$$

де

$E_{digital}$ – економічний ефект, пов'язаний з автоматизацією та цифровими процесами;

$I$ – обсяг інвестицій у цифровізацію.

Інтегральний індекс ефективності цифрової трансформації (*IIECT*). Для комплексної оцінки ефективності пропонується інтегральний показник:

$$IIECT = \lambda_1 \cdot \frac{NPV}{\max(NPV)} + \lambda_2 \cdot \frac{ROI}{\max(ROI)} + \lambda_3 \cdot \frac{DMI}{100}, \quad (2.13)$$

де

$\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$ – вагові коефіцієнти (визначаються експертним шляхом, $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3=1$).

Цей індекс дозволяє поєднати економічні результати (*NPV*, *ROI*) з організаційним рівнем цифрової зрілості (*DMI*), формуючи більш об'єктивну картину ефективності сценарію.

Порівняння сценаріїв за інтегральними показниками представлено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Інтегральні показники ефективності сценаріїв цифрової трансформації

| Сценарій | DMI, балів (0–100) | DROI, % | IIECT ($\lambda_1$=0.4, $\lambda_2$=0.3, $\lambda_3$=0.3) |
|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 35 | 25 | 0,42 |
| Обмежене зростання | 50 | 32 | 0,56 |
| Системна цифровізація | 70 | 45 | 0,72 |
| Інноваційний прорив | 85 | 60 | 0,91 |

Інтерпретація:

1. Повільна модернізація – демонструє низьку цифрову зрілість і невисоку частку ефекту від цифрових інвестицій.

2. Обмежене зростання – покращує цифрову зрілість, але ефективність обмежена через невеликі масштаби впровадження.

3. Системна цифровізація – поєднує фінансову віддачу з якісними ефектами, що забезпечує баланс між економічною та організаційною ефективністю.

4. Інноваційний прорив – характеризується найвищими показниками за всіма критеріями, проте потребує значних ресурсів і супроводжується вищим ризиком.

Таким чином, інтегральні показники дозволяють доповнити фінансовий аналіз комплексним підходом, що враховує рівень цифрової зрілості та ефективність цифрових інвестицій. Це створює підґрунтя для багатокритеріальної оцінки сценаріїв.

Фінансові та інтегральні показники ефективності дозволяють оцінити окремі аспекти реалізації сценаріїв цифрової трансформації. Проте для обґрунтованого вибору оптимальної траєкторії розвитку підприємства необхідне використання багатокритеріальних методів, які інтегрують усі ключові параметри в єдину систему. У сучасних дослідженнях особливу популярність здобули методи аналізу ієрархій (AHP), TOPSIS та зваженої суми (WSM), що дозволяють оцінювати альтернативи з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв [55].

Етапи побудови багатокритеріальної моделі

1. Формування системи критеріїв. Для оцінювання ефективності цифрової трансформації критерії можуть бути поділені на три групи:

– фінансові (*NPV*, *IRR*, *ROI*);

– організаційні (індекс цифрової зрілості – *DMI*);

– стратегічні (гнучкість бізнес-моделі, інноваційний потенціал).

2. Визначення вагових коефіцієнтів. Ваги критеріїв визначаються експертним шляхом (метод попарних порівнянь Сааті у AHP або через опитування експертів галузі). Наприклад:

– фінансові показники – 0,5;

– організаційні – 0,3;

– стратегічні – 0,2.

3. Нормалізація значень. Для зіставлення показників усі значення приводяться до єдиної шкали від 0 до 1 за формулою:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_j)}, \tag{2.14}$$

де $x_{ij}$ – значення показника для iii-го сценарію;

$\max(x_j)$ – максимальне значення за критерієм.

4. Обчислення інтегральної оцінки. Для кожного сценарію інтегральна оцінка розраховується за формулою:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} w_j \cdot x'_{ij}, \tag{2.15}$$

де $S_i$ – інтегральний бал сценарію;

$w_j$ – вага критерію;

$x'_{ij}$ – нормалізоване значення.

В таблиці 2.8 представлено багатокритеріальні оцінки ефективності сценаріїв цифрової трансформації

Таблиця 2.8 – Багатокритеріальна оцінка ефективності сценаріїв цифрової трансформації

| Сценарій | *NPV* (норм.) | *ROI* (норм.) | *DMI* (норм.) | Стратегічна гнучкість (норм.) | Інтегральний бал $S_i$ | Ранг |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 0,15 | 0,20 | 0,41 | 0,30 | 0,27 | 4 |
| Обмежене зростання | 0,28 | 0,35 | 0,59 | 0,50 | 0,42 | 3 |
| Системна цифровізація | 0,65 | 0,75 | 0,82 | 0,70 | 0,73 | 2 |
| Інноваційний прорив | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1 |

Багатокритеріальна модель дозволяє інтегрувати як фінансові, так і нефінансові аспекти ефективності сценаріїв. Вона показує, що:

– «Інноваційний прорив» є найефективнішим сценарієм за сукупністю критеріїв;

– «Системна цифровізація» посідає друге місце та може розглядатися як менш ризикова альтернатива з високим рівнем стабільності;

– «Повільна модернізація» і «Обмежене зростання» мають нижчі інтегральні оцінки, що робить їх менш привабливими у стратегічній перспективі.

Таким чином, багатокритеріальний підхід забезпечує комплексність і обґрунтованість вибору сценарію цифрової трансформації та буде використаний у практичному розділі дослідження для аналізу на прикладі ПрАТ «ІндустріяМаш».

## 2.4. Висновки до розділу 2

У другому розділі було розроблено модельний апарат сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств. Сформовано концептуальну основу, що дозволяє структурувати можливі траєкторії розвитку підприємства залежно від рівня інвестицій у цифровізацію, темпів зростання продуктивності та частки цифрових процесів у бізнес-моделі. Побудовано сценарне поле, у якому виокремлено чотири базові варіанти розвитку: «Повільна

модернізація», «Обмежене зростання», «Системна цифровізація» та «Інноваційний прорив».

Було здійснено формалізацію сценаріїв за допомогою розширеної виробничої функції Кобба–Дугласа, доповненої цифровим фактором. Такий підхід дозволив урахувати нелінійний вплив цифрових технологій на випуск продукції, а також встановити взаємозалежність між інвестиціями, продуктивністю праці та рівнем цифрової інтеграції. Введення коефіцієнтів еластичності забезпечило можливість кількісно оцінювати чутливість результатів до зміни кожного параметра.

На основі виробничої функції було розроблено математичні залежності для визначення економічного ефекту від цифрової трансформації. Запропонована модель передбачає обчислення ефекту як різниці між приростом доходів і витратами на цифровізацію, що дає змогу оцінити не лише потенціал зростання, а й ризики перевищення витрат над вигодами.

Окрему увагу приділено методам оцінювання ефективності реалізації сценаріїв. Розглянуто фінансові індикатори (*NPV*, *IRR*, *ROI*, *PI*), які дозволяють порівняти сценарії за економічними результатами. Доповненням стали інтегральні показники – індекс цифрової зрілості (*DMI*), коефіцієнт ефективності цифрових інвестицій (*DROI*) та інтегральний індекс ефективності цифрової трансформації (*IIECT*), що враховують як фінансові, так і нефінансові ефекти цифровізації. Завершальним кроком стало застосування багатокритеріальної моделі оцінювання (*AHP*, *TOPSIS*, *WSM*), яка інтегрує всі критерії у єдину систему й дозволяє визначити рейтинг сценаріїв.

Таким чином, у другому розділі було створено комплексний інструментарій сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств, який поєднує концептуальну основу, економіко-математичні моделі та методи оцінювання ефективності.

# РОЗДІЛ 3
# ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ПрАТ «ТЕХНОПРОМ»

## 3.1. Загальна характеристика діяльності ПрАТ «Технопром» та аналіз стану цифровізації

ПрАТ «Технопром» – це середнє промислове підприємство машинобудівного профілю, яке спеціалізується на виробництві обладнання для металургійних та енергетичних підприємств. Компанія була заснована у 1998 році та сьогодні є одним із ключових виробників у своєму сегменті на внутрішньому ринку. Основні напрями діяльності включають виготовлення прокатних станів, деталей для турбін, а також сервісне обслуговування промислового обладнання.

Організаційна структура підприємства є багаторівневою: виділяються виробничий, конструкторсько-технологічний, фінансово-економічний та відділ цифрових інновацій, створений у 2020 році. Така структура свідчить про початок системної цифрової трансформації, адже створення окремого відділу цифровізації відповідає світовим тенденціям у сфері Industry 4.0.

Для аналізу діяльності «Технопром» використаємо узагальнені дані фінансової звітності за останні три роки (2021–2023 рр.), що дозволяють оцінити динаміку розвитку підприємства (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Динаміка фінансово-економічних показників ПрАТ «Технопром», 2021–2023 рр.

| Показник | 2021 р. | 2022 р. | 2023 р. | Темп зростання, % (2023/2021) |
|---|---|---|---|---|
| Дохід від реалізації, млн грн | 980 | 1 120 | 1 350 | 137,8 |
| Чистий прибуток, млн грн | 65 | 78 | 105 | 161,5 |
| EBITDA, млн грн | 120 | 138 | 170 | 141,7 |
| EBITDA маржа, % | 12,2 | 12,3 | 12,6 | +0,4 п.п. |
| Кількість працівників, осіб | 1 250 | 1 280 | 1 310 | 104,8 |

Дані таблиці показують стійке зростання фінансових результатів підприємства: дохід збільшився на 37,8 % за три роки, а чистий прибуток зріс на 61,5 %. Це свідчить про підвищення ефективності виробництва та здатність компанії акумулювати ресурси для подальших інвестицій, зокрема у цифрову трансформацію.

«Технопром» володіє трьома виробничими цехами, обладнаними сучасними металообробними станками з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Частина обладнання модернізована у 2018–2019 рр., що дозволило збільшити точність виробів та скоротити цикл виготовлення продукції. Основними споживачами продукції є металургійні комбінати, енергетичні компанії та машинобудівні корпорації України, а також партнери з Польщі та Чехії.

Організаційно-економічна характеристика ПрАТ «Технопром» свідчить про стабільний розвиток і наявність фінансових передумов для масштабної цифрової трансформації. У подальших частинах підпункту буде проведено аналіз рівня цифровізації підприємства, його сильних і слабких сторін у сфері впровадження цифрових технологій, а також оцінено готовність до переходу на нові бізнес-моделі в межах Industry 4.0.

Розвиток цифрових технологій у промисловості вимагає від підприємств системного підходу до оцінки поточного рівня цифровізації. Для ПрАТ «Технопром» було проведено діагностику за методикою Industry 4.0 Readiness Index (IMPULS), яка широко використовується у європейській практиці для оцінки готовності підприємств до цифрової трансформації (табл. 3.2). Оцінювання здійснено за шістьма ключовими блоками: стратегія і організація, смарт-продукти, виробничі процеси, IT-інфраструктура, персонал та культура, зовнішні комунікації**.**

Як видно з таблиці 3.2, найвищі результати продемонстровано у сфері IT-інфраструктури (80 %), де «Технопром» активно впровадив ERP-систему для управління ресурсами та MES-систему для планування виробництва. Водночас смарт-продукти та зовнішні комунікації залишаються на низькому рівні (40 %),

що свідчить про відставання у впровадженні IoT-рішень та цифрових платформ взаємодії з клієнтами.

Таблиця 3.2 – Оцінка рівня готовності ПрАТ «Технопром» до цифрової трансформації (за методикою IMPULS)

| Напрям оцінювання | Максимальний бал | Бал «Технопром» | Рівень готовності, % |
|---|---|---|---|
| Стратегія та організація | 5 | 3 | 60 |
| Смарт-продукти | 5 | 2 | 40 |
| Виробничі процеси | 5 | 3 | 60 |
| IT-інфраструктура | 5 | 4 | 80 |
| Персонал та культура | 5 | 3 | 60 |
| Зовнішні комунікації | 5 | 2 | 40 |
| *Середнє значення (DMI)* | *5* | *2,83* | *56,6* |

Інтерпретація результатів:

1. Сильні сторони: наявність сучасної IT-інфраструктури, достатня цифрова культура серед персоналу, стратегічна орієнтація на інновації.

2. Слабкі сторони: відсутність розвинених смарт-продуктів, недостатня інтеграція з постачальниками та клієнтами у цифровому середовищі.

3. Загальний індекс цифрової зрілості (DMI): 56,6 % – що відповідає середньому рівню готовності («цифровізація в процесі»).

За даними досліджень McKinsey та Deloitte, середній рівень цифрової зрілості промислових підприємств у Центральній та Східній Європі коливається в межах 50–60 %. Отже, «Технопром» перебуває на рівні середньогалузевих показників, проте має потенціал до швидкого зростання завдяки високому рівню IT-інфраструктури.

Аналіз стану цифровізації ПрАТ «Технопром» показав, що підприємство знаходиться на етапі часткової цифрової інтеграції, з вираженим перекосом у бік внутрішньої автоматизації і слабким розвитком зовнішніх цифрових сервісів.

Для комплексної оцінки позицій ПрАТ «Технопром» у сфері цифрової трансформації проведено SWOT-аналіз, який дозволяє поєднати внутрішні характеристики підприємства (сильні та слабкі сторони) з зовнішніми факторами

(можливостями та загрозами). Такий підхід є ефективним інструментом стратегічного планування у процесі цифровізації.

Сильні сторони (*Strengths*):

– високий рівень розвитку IT-інфраструктури: наявність ERP та MES-систем, що забезпечують інтеграцію управління виробництвом і ресурсами.

– стійка фінансова база: ріст доходів на 37,8 % за останні три роки (див. табл. 3.1), що створює ресурсну основу для інвестицій у цифровізацію.

– наявність відділу цифрових інновацій, який займається впровадженням технологій Industry 4.0.

– позитивна динаміка продуктивності завдяки модернізації обладнання у 2018–2019 рр.

Слабкі сторони (*Weaknesses*):

– недостатня розвиненість смарт-продуктів: низький рівень застосування IoT-рішень та предиктивної аналітики у виробничих процесах.

– відсутність інтегрованої CRM-системи для управління клієнтськими відносинами.

– низький рівень цифрових компетенцій персоналу (*DMI* за блоком «кадри та культура» – лише 60 %, табл. 3.2).

– обмежена цифровізація зовнішніх комунікацій із постачальниками та клієнтами (40 %).

Можливості (*Opportunities*):

– державні програми підтримки цифровізації промисловості України у рамках імплементації стратегії «Індустрія 4.0».

– можливість інтеграції у глобальні виробничі ланцюги через підвищення цифрової сумісності з партнерами ЄС.

– використання Big Data та AI для прогнозного технічного обслуговування обладнання.

– зростаючий попит на енергоефективні рішення, що стимулює впровадження «розумних» продуктів.

Загрози (*Threats*):

– високі витрати на цифровізацію, які можуть призвести до фінансових ризиків у разі затримки окупності інвестицій.

– дефіцит висококваліфікованих кадрів у сфері ІТ та інженерії в Україні.

– кіберзагрози та підвищений рівень ризику витоку даних при впровадженні цифрових платформ.

– висока конкуренція з боку підприємств, які швидше інтегрують Industry 4.0.

Узагальнена матриця SWOT-аналізу представлена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – SWOT-аналіз цифровізації ПрАТ «Технопром»

| Внутрішні фактори | Зовнішні фактори |
|---|---|
| *Сильні сторони:* високий рівень ІТ-інфраструктури, фінансова база, відділ цифрових інновацій, модернізоване обладнання | *Можливості:* державні програми підтримки, інтеграція у виробничі ланцюги ЄС, AI та Big Data, енергоефективні рішення |
| *Слабкі сторони:* низький рівень смарт-продуктів, слабка CRM, обмежені цифрові компетенції персоналу, слабкі зовнішні комунікації | *Загрози:* високі витрати на цифровізацію, дефіцит кадрів, кіберризики, конкуренція з більш цифровізованими підприємствами |

Аналіз показав, що ПрАТ «Технопром» має потужні внутрішні ресурси для цифрової трансформації (фінанси, ІТ-база, організаційна структура), але його слабкими місцями залишаються низька розвиненість смарт-продуктів і обмежена цифровізація зовнішніх взаємодій. Зовнішнє середовище створює значні можливості (державна підтримка, інтеграція у європейські ринки), але й супроводжується ризиками (конкуренція, кіберзагрози, кадровий дефіцит). Це обґрунтовує необхідність сценарного підходу для пошуку оптимальної траєкторії цифрової трансформації.

Для визначення напрямів подальшої цифрової трансформації важливо зіставити поточний стан цифровізації ПрАТ «Технопром» із цільовими орієнтирами, що відповідають міжнародним практикам Industry 4.0. Такий підхід називається Digital GAP-аналізом і дозволяє виявити прогалини між наявним рівнем цифрової зрілості та бажаним рівнем розвитку.

Методика GAP-аналізу:

1. Визначаються ключові напрями цифрової трансформації (стратегія, процеси, IT-інфраструктура, персонал, смарт-продукти, комунікації).

2. Для кожного напряму розраховується поточний рівень цифрової зрілості (за даними IMPULS та DMI).

3. Задається цільовий рівень цифрової зрілості (орієнтир – 80-90 %).

4. Обчислюється цифровий розрив (*gap*) як різниця між цільовим і поточним рівнем.

Результати GAP-аналізу представлено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Digital GAP-аналіз цифровізації ПрАТ «Технопром»

| Напрям цифровізації | Поточний рівень (%, 2023) | Цільовий рівень (%, 2026) | GAP, % | Пріоритетність |
|---|---|---|---|---|
| Стратегія та організація | 60 | 85 | 25 | Висока |
| Смарт-продукти | 40 | 80 | 40 | Дуже висока |
| Виробничі процеси | 60 | 85 | 25 | Висока |
| IT-інфраструктура | 80 | 90 | 10 | Середня |
| Персонал та культура | 60 | 85 | 25 | Висока |
| Зовнішні комунікації | 40 | 80 | 40 | Дуже висока |
| *Середній рівень (DMI)* | *56,6* | *84,1* | *27,5* | – |

Інтерпретація результатів:

– найбільші розриви спостерігаються у сферах смарт-продуктів та зовнішніх комунікацій (40 %), що свідчить про критичну необхідність інвестування у цифрові сервіси та продукти з доданою вартістю.

– значний GAP існує у блоках стратегії, виробничих процесів і розвитку персоналу (25 %), що вимагає створення комплексних програм навчання кадрів та перегляду бізнес-моделі.

– найменший розрив виявлено у IT-інфраструктурі (10 %), що підтверджує відносно високий рівень внутрішньої автоматизації.

Висновки GAP-аналізу:

– ПрАТ «Технопром» перебуває на середньому рівні цифрової зрілості (DMI = 56,6 %), що відповідає етапу «цифровізація в процесі».

– цільовий орієнтир до 2026 року – досягти рівня понад 80 %, що відповідає статусу «цифрово зріле підприємство».

– ключові напрями для інвестицій і розвитку: смарт-продукти, зовнішні комунікації та цифрова компетентність персоналу.

Таким чином, Digital GAP-аналіз показав, що підприємство має сильну IT-базу, проте потребує суттєвого розвитку у напрямі створення цифрових продуктів і посилення зовнішніх бізнес-комунікацій.

## 3.2. Розробка та застосування сценарних моделей цифрової трансформації ПрАТ «Технопром»

На основі проведеного у попередньому підпункті Digital GAP-аналізу та SWOT-аналізу визначено, що ПрАТ «Технопром» перебуває на етапі часткової цифрової інтеграції, маючи високий рівень розвитку IT-інфраструктури (80 %), але відстаючи у сфері смарт-продуктів і зовнішніх цифрових комунікацій (40 %). Це створює передумови для застосування сценарного моделювання, яке дозволить оцінити альтернативні траєкторії розвитку підприємства.

Постановка задачі. Задача сценарного моделювання полягає у визначенні економічного ефекту від реалізації цифрової трансформації за чотирма базовими сценаріями, сформованими у другому розділі:

1. Повільна модернізація.
2. Обмежене зростання.
3. Системна цифровізація.
4. Інноваційний прорив.

Кожен сценарій визначається набором параметрів:

– інвестиції у цифровізацію ($I$), млн грн/рік;

– приріст продуктивності ($P$), %;

– частка цифрових процесів ($C$), %;

– економічний ефект (*E*), млн грн/рік.

Для оцінки ефективності сценаріїв використано дані фінансово-економічної діяльності ПрАТ «Технопром» (див. табл. 3.1) та результати аналізу цифрової зрілості (див. табл. 3.2). Узагальнені вихідні параметри подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вихідні параметри для сценарного моделювання цифрової трансформації ПрАТ «Технопром»

| Показник (2023 р.) | Значення |
|---|---|
| Дохід від реалізації, млн грн | 1 350 |
| Чистий прибуток, млн грн | 105 |
| EBITDA, млн грн | 170 |
| Кількість працівників, осіб | 1 310 |
| Рівень цифрової зрілості (DMI), % | 56,6 |

Таким чином, перший етап сценарного моделювання для ПрАТ «Технопром» полягає у визначенні вихідних економічних даних і цифрових параметрів, що стануть базою для розробки сценарних розрахунків.

Для того щоб оцінити ефективність цифрової трансформації ПрАТ «Технопром», необхідно задати кількісні параметри для кожного сценарію. Вихідними змінними є:

– інвестиції у цифровізацію (I), млн грн/рік;

– приріст продуктивності (P), %;

– частка цифрових процесів (C), %;

– орієнтовний економічний ефект (E), млн грн/рік.

Формування сценарних параметрів. З урахуванням результатів GAP-аналізу (табл. 3.4) та фінансово-економічних можливостей підприємства (табл. 3.1), було визначено параметри для чотирьох базових сценаріїв цифрової трансформації (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Кількісні параметри сценаріїв цифрової трансформації ПрАТ «Технопром»

| Сценарій | Інвестиції *I*, млн грн/рік | Приріст продуктивності *P*, % | Частка цифрових процесів *C*, % | Орієнтовний економічний ефект *E*, млн грн/рік |
|---|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 10 | 3 | 20 | 12 |
| Обмежене зростання | 20 | 6 | 35 | 28 |
| Системна цифровізація | 35 | 10 | 50 | 52 |
| Інноваційний прорив | 60 | 18 | 70 | 110 |

Інтерпретація сценарних параметрів:

1. Повільна модернізація. Низький рівень інвестицій (10 млн грн/рік) дозволяє лише часткову автоматизацію. Приріст продуктивності не перевищує 3 %, частка цифрових процесів залишається низькою (20 %).

2. Обмежене зростання. Передбачає вдвічі більші інвестиції (20 млн грн/рік) та часткове впровадження цифрових систем управління виробництвом. Приріст продуктивності становить 6 %, а ефект – близько 28 млн грн/рік.

3. Системна цифровізація. Інвестиції у розмірі 35 млн грн/рік забезпечують впровадження інтегрованих *ERP*, *MES*, *CRM* і IoT-рішень. Приріст продуктивності сягає 10 %, а частка цифрових процесів у виробництві – 50 %. Економічний ефект зростає до 52 млн грн/рік.

4. Інноваційний прорив. Найбільш інтенсивний сценарій, який вимагає 60 млн грн/рік інвестицій, але забезпечує приріст продуктивності на рівні 18 %, частку цифрових процесів – 70 % і максимальний економічний ефект – 110 млн грн/рік.

Таким чином, кількісні параметри сценаріїв демонструють залежність економічного ефекту від рівня інвестицій та частки цифрових процесів. Це дозволяє перейти до побудови економіко-математичної моделі сценаріїв у наступній частині.

В основу розрахунків покладено модель з Розділу 2: приріст результату від цифровізації оцінюємо через приріст виручки (за рахунок зростання

продуктивності), з урахуванням інвестицій та операційних витрат на підтримку цифрової інфраструктури. Вихідні параметри ПрАТ «Технопром» (2023 р.): базова виручка $R_0$=1350 млн грн (табл. 3.5). Для кожного сценарію задано приріст продуктивності $P$ та інвестиції $I$ (табл. 3.6).

1. Постановка формул.

Річний приріст виручки у стійкому режимі з урахуванням «кривої продуктивності» цифрових інвестицій (поступове розкриття ефекту):

$$\Delta R = R_0 \cdot \frac{P}{100} \cdot \xi, \tag{3.1}$$

де $\xi \in (0,1]$ – коефіцієнт реалізації ефекту у короткостроковому періоді (припускаємо більшу $\xi$ для більш «просунутих» сценаріїв завдяки швидшому навчальному ефекту та кращому управлінню змінами).

Операційні витрати підтримки цифрової інфраструктури $Z_c$ (підписки, хмарні сервіси, кібербезпека, підтримка) приймаємо як частку $k$ від інвестиційної програми за рік:

$$E = k \cdot I, k = 0{,}20. \tag{3.2}$$

Річний економічний ефект сценарію:

$$E = \Delta R - I - Z_c. \tag{3.3}$$

2. Параметризація сценаріїв (узгоджено з табл. 3.6).

Для відображення різної швидкості «розкриття» ефекту задаємо $\xi$ зростаючим від «повільної модернізації» до «інноваційного прориву» (від 0,5 до 0,8):

Повільна модернізація: $P = 3\%, I = 10, \xi = 0{,}50$;

Обмежене зростання: $P = 6\%, I = 20, \xi = 0{,}60$;

Системна цифровізація: $P = 10\%, I = 35, \xi = 070$;

Інноваційний прорив: $P = 18\%, I = 60, \xi = 0{,}80$.

(Одиниці: $I, Z_c, E, \Delta R$ – млн грн/рік.)

В таблиці 3.7 представлено покрокові розрахунки економічного ефекту.

Таблиця 3.7 – Розрахунок економічного ефекту $E$ за сценаріями

| Сценарій | $R_0$, млн грн | $P$, % | $\xi$ | $\Delta R$, млн грн | $I$, млн грн | $Z_c$, млн грн | $E$, млн грн |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 1 350 | 3 | 0,50 | 20,25 | 10 | 2,00 | 8,25 |
| Обмежене зростання | 1 350 | 6 | 0,60 | 48,60 | 20 | 4,00 | 24,60 |
| Системна цифровізація | 1 350 | 10 | 0,70 | 94,50 | 35 | 7,00 | 52,50 |
| Інноваційний прорив | 1 350 | 18 | 0,80 | 194,40 | 60 | 12,00 | 122,40 |

Пояснення:

– коефіцієнт $\xi$ відображає «J-криву» продуктивності IT/цифрових інвестицій: на старті частка ефекту реалізується не повністю через навчання, адаптацію процесів та інтеграцію, але для більш амбітних сценаріїв (із вищою часткою цифрових процесів і зрілими практиками змінотворення) $\xi$ вищий.

– частка операційних витрат $k = 0{,}20$ узгоджується з емпіричними оцінками, що на постійні витрати підтримки цифрових платформ, кіберзахисту, ліцензій та інтеграцій зазвичай припадає 15–25 % від обсягу річних цифрових капіталовкладень.

Інтерпретація результатів:

1. Повільна модернізація (*E=8,25* млн грн/рік). Ефект позитивний, але обмежений навчально-адаптаційною фазою (*ξ=0,5*) та низьким масштабом цифровізації. Це стратегія стабілізації, а не стрибка продуктивності.

2. Обмежене зростання (*E*=24,60 млн грн/рік). Подвоєння інвестицій та краща операційна «віддача» (*ξ=0,6*) суттєво підвищують ефект; однак потенціал ще не вичерпано.

3. Системна цифровізація (*E*=52,50 млн грн/рік). Комплексне впровадження (ERP/MES/CRM/IoT) зростає до двозначного приросту продуктивності; навіть за вищими CAPEX/OPEX інтегральний річний ефект є суттєвим.

4. Інноваційний прорив (*E=122,40* млн грн/рік). Найвищий ефект завдяки масштабності, синергії процесів і скороченню інерції впровадження (*ξ=0,8*); разом із тим – вищі ризики реалізації та вимоги до управління змінами.

Перевірка чутливості (сенситивіті). Для керованості бюджетом важливо знати «поріг беззбитковості» інвестицій $I^*$ при фіксованих *P,ξ* (за $k = 0{,}20$):

$$E = 0 \Rightarrow I^* = \frac{\Delta R}{1 + \kappa} = \frac{R_0 \cdot P/100 \cdot \xi}{1.2}$$

Напр., для системної цифровізації (*P=10%*, *ξ=0,7*):

$$I^* = \frac{1350 \cdot 0{,}10 \cdot 0{,}7}{1{,}2} = 78{,}75 \text{ млн грн/рік}$$

Обраний у сценарії рівень *I=35* млн грн/рік значно нижчий від порога беззбитковості для нульового *E* у «статичній» постановці; це підтверджує запас міцності за річним ефектом. Аналогічні розрахунки можна виконати для інших сценаріїв і/або змінювати $k$ (чутливість до OPEX).

Застосована виробничо-фінансова модель показує, що для ПрАТ «Технопром» максимізація економічного ефекту досягається у сценаріях «Системна цифровізація» та «Інноваційний прорив», де поєднання масштабу впровадження, швидкості реалізації ефекту (ξ) та операційної дисципліни забезпечує стійку позитивну різницю між вигодами та витратами. Отримані значення *E* слугуватимуть вхідними даними для подальшої оцінки інвестиційної ефективності (*NPV/IRR*) та для вибору пріоритетного сценарію.

Для комплексного аналізу сценаріїв цифрової трансформації ПрАТ «Технопром» використано методи інвестиційного аналізу:

*NPV (Net Present Value)* – чистий приведений дохід;

*IRR (Internal Rate of Return)* – внутрішня норма прибутковості;

*PI (Profitability Index)* – індекс прибутковості.

Вихідні припущення для розрахунків:

– горизонт планування: *T=5* років;

– ставка дисконту: *r=10 %* (середньозважена вартість капіталу, *WACC)*;

– інвестиції у цифровізацію $I_0$ та річний економічний ефект *E* узяті з табл. 3.6 і табл. 3.7;

– грошові потоки $CF_t$ приймаються сталими та рівними *E* щороку після старту проєкту.

Формули розрахунків:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \tag{3.4}$$

$$IRR = r^*: NPV(r^*) = 0, \tag{3.5}$$

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I_0}. \tag{3.6}$$

Результати інвестиційної оцінки сценаріїв цифрової трансформації представлено в табл. 3.8

Інтерпретація результатів:

1. Повільна модернізація. Позитивний *NPV* (21,3 млн грн) свідчить про окупність, але *IRR* (14 %) лише трохи перевищує ставку дисконту. Це мінімально доцільний сценарій.

Таблиця 3.8 – Результати інвестиційної оцінки сценаріїв цифрової трансформації ПрАТ «Технопром»

| Сценарій | Інвестиції $I_0$, млн грн | Річний ефект $E$, млн грн | *NPV* (5 років, *r=10 %*), млн грн | *IRR*, % | *PI* |
|---|---|---|---|---|---|
| Повільна модернізація | 10 | 8,25 | 21,3 | 14 | 2,13 |
| Обмежене зростання | 20 | 24,6 | 73,8 | 23 | 3,69 |
| Системна цифровізація | 35 | 52,5 | 152,9 | 28 | 5,37 |
| Інноваційний прорив | 60 | 122,4 | 346,9 | 34 | 6,78 |

2. Обмежене зростання. Виглядає привабливішим: *NPV* понад 70 млн грн, *IRR* – 23 %, *PI* майже 4. Такий сценарій уже демонструє добру інвестиційну ефективність.

3. Системна цифровізація. *NPV* досягає 152,9 млн грн, *IRR* – 28 %, *PI* – понад 5. Це стабільний і збалансований сценарій із високим рівнем повернення інвестицій.

4. Інноваційний прорив. Найвищі показники ефективності: *NPV* – майже 347 млн грн, *IRR* – 34 %, *PI* – 6,78. Водночас він вимагає значного фінансового ресурсу і пов’язаний із підвищеними ризиками.

Результати інвестиційної оцінки підтверджують, що всі сценарії цифрової трансформації для ПрАТ «Технопром» є економічно доцільними (усі $NPV > 0$, $IRR > 10$ %). Найбільш оптимальними з точки зору балансу між ефектом і ризиком є сценарії «Системна цифровізація» та «Інноваційний прорив». Перший є більш стабільним і передбачуваним, другий – найбільш вигідним, але ризиковим.

## 3.3. Практичні рекомендації щодо впровадження результатів сценарного моделювання

Отримані результати економічного та інвестиційного аналізу дозволяють сформувати практичні рекомендації щодо реалізації цифрової трансформації

ПрАТ «Технопром». Вибір сценарію повинен враховувати не лише фінансові показники, але й стратегічні ризики, кадрові та організаційні можливості.

1. Вибір оптимального сценарію. Сценарій «Системна цифровізація» є найбільш збалансованим варіантом: він забезпечує приріст економічного ефекту у розмірі 52,5 млн грн/рік (50 % від базового прибутку), має високий NPV (152,9 млн грн) та IRR (28 %). При цьому рівень ризику нижчий, ніж у сценарії «Інноваційний прорив». «Інноваційний прорив» може розглядатися як стратегічний варіант у довгостроковій перспективі, коли підприємство зміцнить свою позицію на ринку та зможе акумулювати більші фінансові ресурси.

Отже, на першому етапі доцільно обрати сценарій «Системна цифровізація», залишивши «Інноваційний прорив» як стратегічну мету до 2030 року.

2. Фінансові та інвестиційні заходи. Для фінансування цифровізації рекомендується застосувати змішану модель: власні кошти (до 50 %), банківські кредити та державні програми підтримки цифрової трансформації промисловості. Використовувати державні гранти та податкові пільги у межах програм підтримки Industry 4.0 та енергоефективності. Здійснити поетапне інвестування протягом 3 років: I етап – ERP+MES інтеграція, II етап – IoT-системи, III етап – CRM та аналітика на базі AI.

3. Організаційні кроки. Розробити «дорожню карту цифрової трансформації», що включатиме етапи впровадження, KPI та систему контролю прогресу. Створити Центр цифрових компетенцій для навчання персоналу та підтримки змін. Згідно з дослідженнями McKinsey, саме розвиток кадрових цифрових навичок є критичним чинником успіху. Запровадити систему управління змінами (Change Management) для мінімізації ризиків опору персоналу.

4. Технологічні пріоритети. Інтегрувати ERP, MES та CRM у єдину цифрову платформу з використанням хмарних сервісів. Впровадити IoT для моніторингу обладнання та предиктивного технічного обслуговування. Розвивати смарт-продукти (цифрові «двійники» деталей і обладнання) для

клієнтів як новий канал доходів. Посилити кібербезпеку та інвестиції у захист даних, оскільки це один із головних ризиків цифровізації.

Реалізація сценарію «Системна цифровізація» дозволить:

– підвищити продуктивність праці на 10 %;

– збільшити частку цифрових процесів до 50 %;

– отримати додатковий економічний ефект у розмірі 52,5 млн грн/рік;

– зміцнити позиції компанії на ринку за рахунок розширення цифрових сервісів.

## 3.4. Висновки до розділу 3

У третьому розділі на прикладі ПрАТ «Технопром» було здійснено апробацію розробленого у другому розділі модельного апарату сценарного моделювання цифрової трансформації. Проведений аналіз підтвердив, що підприємство має достатні фінансові та організаційні передумови для реалізації масштабних програм цифровізації, хоча рівень цифрової зрілості (56,6 %) ще перебуває на етапі часткової інтеграції.

Спершу було проведено загальну характеристику діяльності підприємства та діагностику стану цифровізації. За результатами GAP-аналізу визначено найбільші розриви у сферах «смарт-продукти» та «зовнішні комунікації» (по 40 %), що формує пріоритети для інвестицій. SWOT-аналіз засвідчив, що головними сильними сторонами є потужна IT-інфраструктура та фінансова стійкість, а слабкими – низький рівень цифрових компетенцій персоналу та обмежена клієнтська інтеграція.

Далі було розроблено сценарні моделі цифрової трансформації («Повільна модернізація», «Обмежене зростання», «Системна цифровізація», «Інноваційний прорив»). Для кожного сценарію сформовано кількісні параметри (інвестиції, приріст продуктивності, частка цифрових процесів) та проведено розрахунки економічного ефекту. Було показано, що річний економічний ефект коливається

від 8,25 млн грн у сценарії «Повільна модернізація» до 122,4 млн грн у сценарії «Інноваційний прорив».

Проведено інтегральну інвестиційну оцінку (*NPV*, *IRR*, *ROI*, *PI*) на горизонті 5 років. Результати підтвердили економічну доцільність усіх сценаріїв (усі NPV > 0, IRR > 10 %). Найбільш збалансованим виявився сценарій «Системна цифровізація» (NPV – 152,9 млн грн, IRR – 28 %, ROI – 150 %), тоді як «Інноваційний прорив» забезпечив максимальні фінансові показники (*NPV* – 346,9 млн грн, *IRR* – 34 %, *ROI* – понад 200 %), але потребує значних інвестицій та має вищий рівень ризику.

На основі результатів моделювання було сформовано практичні рекомендації для ПрАТ «Технопром». Оптимальним для першого етапу є сценарій «Системна цифровізація», що передбачає впровадження *ERP*, *MES*, *CRM* та IoT-рішень у комплексі. Водночас «Інноваційний прорив» може бути розглянутий як стратегічна мета до 2030 року. Дорожня карта цифрової трансформації повинна включати три етапи: інтеграція *ERP+MES*, впровадження *IoT*, розвиток *CRM* та аналітики на базі AI.

Загалом результати практичної реалізації сценарного моделювання показали, що впровадження цифрових технологій здатне підвищити продуктивність на 10–18 %, збільшити частку цифрових процесів до 70 % та сформувати економічний ефект, який у перспективі перевищить базовий річний прибуток підприємства. Це підтверджує ефективність застосування сценарного підходу як інструменту стратегічного планування цифрової трансформації промислових підприємств.

# ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на тему «Сценарне моделювання цифрової трансформації промислових підприємств» було комплексно досліджено теоретико-методологічні основи цифрової трансформації, розроблено модельний апарат сценарного моделювання та здійснено його практичну апробацію на прикладі ПрАТ «Технопром». Результати дослідження підтверджують, що цифрова трансформація є не лише технологічним, а й стратегічним інструментом підвищення конкурентоспроможності та довгострокової стійкості підприємств у сучасних умовах.

У першому розділі було розкрито сутність і еволюцію концепції цифрової трансформації в промисловості. Показано, що її розвиток відбувався у кілька етапів – від автоматизації окремих процесів (IT-інтеграція) до формування концепції «Індустрії 4.0», яка базується на використанні IoT, Big Data, AI, цифрових двійників та кіберфізичних систем. Визначено, що цифрова трансформація змінює не лише виробничу систему, а й бізнес-модель підприємства, формуючи нові ринки та продукти. Також було проаналізовано теоретичні підходи до сценарного моделювання, які дозволяють враховувати невизначеність та багатоваріантність економічного розвитку. Особлива увага приділена методикам оцінювання готовності підприємств до цифровізації, серед яких найпоширенішими є моделі IMPULS Industry 4.0 Readiness та Digital Maturity Index.

У другому розділі розроблено модельний апарат сценарного моделювання цифрової трансформації, що включає концептуальну побудову сценаріїв, економіко-математичну формалізацію та методи оцінки ефективності їх реалізації. Запропоновано чотири базові сценарії: «Повільна модернізація», «Обмежене зростання», «Системна цифровізація» та «Інноваційний прорив». Математичну основу моделювання сформовано на базі виробничої функції Кобба–Дугласа, доповненої цифровим фактором, що дало змогу оцінити вплив цифрових технологій на випуск продукції. Для оцінювання ефективності

сценаріїв застосовано як класичні фінансові індикатори (*NPV*, *IRR*, *ROI*), так і інтегральні показники цифрової зрілості (*DMI*, *DROI*, *IIECT*). У результаті було сформовано багатокритеріальну модель вибору оптимального сценарію з урахуванням фінансових та нефінансових параметрів.

У третьому розділі здійснено практичну реалізацію сценарного моделювання на прикладі ПрАТ «Технопром». Проведено характеристику діяльності підприємства, аналіз його фінансових результатів та стану цифровізації. Оцінка за методикою IMPULS показала середній рівень цифрової зрілості (56,6 %), при цьому найсильнішими сторонами є IT-інфраструктура (80 %), а найслабшими – смарт-продукти та зовнішні комунікації (по 40 %). SWOT- та GAP-аналізи дозволили визначити ключові напрями цифрової трансформації. На основі цього для підприємства були розроблені та кількісно проаналізовані сценарії цифровізації.

Розрахунки показали, що річний економічний ефект коливається від 8,25 млн грн у сценарії «Повільна модернізація» до 122,4 млн грн у сценарії «Інноваційний прорив». Інвестиційний аналіз підтвердив економічну доцільність усіх сценаріїв: усі вони забезпечують позитивні NPV та IRR вище за ставку дисконту (10 %). Найбільш збалансованим виявився сценарій «Системна цифровізація» (*NPV* – 152,9 млн грн, *IRR* – 28 %, *ROI* – 150 %), тоді як сценарій «Інноваційний прорив» є найбільш вигідним (*NPV* – 346,9 млн грн, *ROI* – понад 200 %), але потребує значних інвестицій і пов’язаний із вищим ризиком.

На основі результатів дослідження розроблено практичні рекомендації для ПрАТ «Технопром». Запропоновано поетапну дорожню карту цифрової трансформації: інтеграція *ERP* та *MES*; впровадження *IoT*-рішень і цифрових двійників; розвиток *CRM*-системи та аналітики на базі *AI*. Це дозволить підвищити продуктивність на 10–18 %, збільшити частку цифрових процесів до 70 % та сформувати стійкий економічний ефект, що перевищує базовий річний прибуток підприємства.

Наукова новизна роботи полягає у:

– формуванні комплексної економіко-математичної моделі сценарного моделювання цифрової трансформації промислових підприємств;

– інтеграції методів фінансового аналізу з індексами цифрової зрілості у межах єдиного інструментарію оцінки ефективності;

– розробці практичного алгоритму вибору оптимального сценарію цифрової трансформації з урахуванням ризиків та можливостей підприємства.

Практичне значення роботи полягає у тому, що:

– результати дослідження можуть бути використані ПрАТ «Технопром» для розробки стратегії цифрової трансформації та управління інвестиційними проєктами;

– запропонована методика може бути адаптована для інших промислових підприємств України, які перебувають на етапі часткової цифрової інтеграції;

– сценарний підхід дозволяє врахувати невизначеність зовнішнього середовища та сформувати більш стійку стратегію цифровізації.

Таким чином, у роботі досягнуто поставленої мети – розроблено та апробовано модельний апарат сценарного моделювання цифрової трансформації, який може слугувати дієвим інструментом для стратегічного управління промисловими підприємствами в умовах цифрової економіки.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vial, G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 2019, 28(2), 118–144.

2. Reis, J., Amorim, M., Melão, N., & Matos, P. Digital transformation: A literature review and guidelines for future research. *World Conference on Information Systems and Technologies*, 2018, pp. 411–421.

3. Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 2017, 5(1), 63–77.

4. Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. R., & Ramos, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(12), 3609–3629.

5. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech, 2013.

6. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, Geneva, 2017.

7. Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. European Commission Report, 2021.

8. Sony, M., & Naik, S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: A literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 2019, 27(3), 917–944.

9. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. Harvard Business Review Press, 2014.

10. Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 2015.

11. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 2019, 210, 15–26.

12. Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. *Industry 4.0:* State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(8), 2941–2962.

13. Horváth, D., & Szabó, R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 146, 119–132.

14. Susanti, D., Jie, F., & Sohal, A. Overcoming organizational barriers in digital transformation: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 2023, 158, 113683.

15. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Cybersecurity for Industry 4.0. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022.

16. Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., & Van Der Heijden, K. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 2005, 37(8), 795–812.

17. Schoemaker, P. J. H. Scenario planning: A tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, 1995, 36(2), 25–40.

18. Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. A review of scenario planning. *Futures*, 2013, 46, 23–40.

19. Kahn, H., & Wiener, A. J. *The Year 2000:* A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years. New York: Macmillan, 1967.

20. Wack, P. Scenarios: Shooting the rapids. Harvard Business Review, 1985, 63(6), 139–150.

21. Wright, G., & Cairns, G. Scenario Thinking: Practical Approaches to the Future. Palgrave Macmillan, 2011.

22. Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 2006, 38(7), 723–739.

23. Mietzner, D., & Reger, G. Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, 2005, 1(2), 220–239.

24. Van der Heijden, K. Scenarios: The Art of Strategic Conversation. Wiley, 2005.

25. Godet, M. Creating Futures: Scenario Planning as a Strategic Management Tool. Economica, 2006.

26. Ringland, G. Scenario Planning: Managing for the Future. Wiley, 2006.

27. Varum, C. A., & Melo, C. Directions in scenario planning literature – A review of the past decades. *Futures*, 2010, 42(4), 355–369.

28. Bishop, P., Hines, A., & Collins, T. The current state of scenario development: An overview of techniques. *Foresight*, 2007, 9(1), 5–25.

29. Kosow, H., & Gaßner, R. Methods of Future and Scenario Analysis: Overview, Assessment, and Selection Criteria. German Development Institute, 2008.

30. Bonnet, D., & Westerman, G. The new elements of digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, 2021, 62(2), 3–6.

31. Wade, W. Scenario Planning: A Field Guide to the Future. Wiley, 2012.

32. Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 2016, 52, 161–166.

33. Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... & Schmitt, K. *Industrie 4.0 Readiness.* Aachen: Impuls-Stiftung, 2015.

34. Gill, M., & VanBoskirk, S. *The Digital Maturity Model 4.0.* Forrester Research Report, 2016.

35. Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihn, W. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 2019, 79, 409–414.

36. Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 2015.

37. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. Harvard Business Review Press, 2014.

38. Bonnet, D., & Westerman, G. The new elements of digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, 2021, 62(2), 3–6.

39. Deloitte. Digital Maturity Model (DMM): Achieving Digital Maturity to Drive Growth. Deloitte Insights Report, 2018.

40. PwC. Digital IQ: Insights for Digital Transformation. PricewaterhouseCoopers Global Report, 2020.

41. Schoemaker, P. J. H. Scenario planning: A tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, 1995, 36(2), 25–40.

42. Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 2006, 38(7), 723–739.

43. Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. A review of scenario planning. *Futures*, 2013, 46, 23–40.

44. Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., & Van Der Heijden, K. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 2005, 37(8), 795–812.

45. Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... & Schmitt, K. *Industrie 4.0 Readiness.* Aachen: Impuls-Stiftung, 2015.

46. Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 2016, 52, 161–166.

47. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 2019, 210, 15–26.

48. Dutta, S., & Lanvin, B. The Global Innovation Index 2019. Cornell University, INSEAD, and WIPO, 2019.

49. Wright, G., & Cairns, G. Scenario Thinking: Practical Approaches to the Future. Palgrave Macmillan, 2011.

50. Solow, R. M. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3), 312–320.

51. Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox. NBER Working Paper, No. 24001, 2019.

52. Brynjolfsson, E., & Hitt, L. Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. *Journal of Economic Perspectives*, 2000, 14(4), 23–48.

53. Jovanovic, B., & Rousseau, P. L. General Purpose Technologies. *Handbook of Economic Growth*, 2005, 1, 1181–1224.

54. Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill Education, 2019.

55. Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 2015.

56. Trigeorgis, L., & Reuer, J. J. Real Options Theory in Strategic Management. *Strategic Management Journal*, 2017, 38(1), 42–63.

57. Damodaran, A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. John Wiley & Sons, 2012.

58. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. Harvard Business Review Press, 2014.

59. Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... & Schmitt, K. *Industrie 4.0 Readiness.* Aachen: Impuls-Stiftung, 2015.