

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ОДЕСЬКА ЮРИДИЧНА АКАДЕМІЯ»**

Центр заочного та дистанційного навчання

Кафедра економіки та менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ
ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ»**

Виконала: здобувачка вищої освіти
2 курсу магістерського рівня заочної форми навчання
галузі знань 07 «Управління та адміністрування»,
спеціальності 073 «Менеджмент»

Катерина Стрижак

Керівник: д.е.н., проф. Ольга Слободянюк

Рецензент: PhD, доц. Олеся Корнілова

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦІФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У СИСТЕМІ ПРОЄКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	7
1.1. Сутність і принципи технології цифрових двійників у контексті управління проєктами	7
1.2. Еволюція та моделі використання цифрових двійників на етапах життєвого циклу проєктів	16
1.3. Зарубіжний і вітчизняний досвід упровадження цифрових двійників у практику проєктного менеджменту	26
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ПЕРЕДУМОВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦІФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ПРОЄКТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	32
2.1. Сучасні тренди цифровізації проєктного управління та ролі цифрових двійників	32
2.2. Аналіз використання цифрових моделей для прогнозування результатів реалізації проєктів у світі та в Україні	43
2.3. Визначення управлінських проблем і можливостей інтеграції цифрових двійників у систему планування та контролю проєктів	47
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦІФРОВОГО ДВІЙНИКА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ	53
3.1. Обґрунтування мети, завдань та архітектури проєкту впровадження цифрового двійника	56
3.2. Планування етапів реалізації проєкту та вибір технологічних інструментів	60
3.3. Оцінювання ефективності та ризиків упровадження цифрового двійника в системі проєктного менеджменту	60
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
ДОДАТКИ	89

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку економіки та цифровізації бізнесу особливого значення набуває здатність підприємств ефективно планувати та прогнозувати результати своєї діяльності. Зростання популярності онлайн-сервісів, зокрема доставки їжі, стимулює формування нових бізнес-моделей, що передбачають швидку адаптацію до змін попиту, оптимізацію логістики та ресурсного забезпечення.

Водночас традиційні підходи до управління проєктами та бізнес-процесами часто виявляються недостатньо гнучкими й не забезпечують належного рівня точності прогнозування фінансових, часових та ресурсних показників, що підвищує ризики невдач при реалізації нових проєктів, особливо в умовах нестабільного зовнішнього середовища.

Цифрові двійники як сучасна технологія моделювання фізичних та бізнес-процесів у віртуальному середовищі дають змогу інтегрувати ключові аспекти діяльності підприємства та прогнозувати результати на основі реальних даних. Вони слугують інструментом підтримки прийняття обґрунтованих управлінських рішень, оптимізації логістики, планування завантаження ресурсів, оцінки ризиків і прогнозування фінансових показників. Інтеграція цифрового двійника в процес створення та управління підприємством доставки їжі дозволяє підвищити ефективність бізнес-моделі, мінімізувати витрати та скоротити терміни реалізації проєкту, що зумовлює актуальність обраної тематики дослідження.

Теоретичні аспекти розвитку технології цифрових двійників, їхнього становлення та застосування в управлінні проєктами знайшли своє відображення в наукових працях українських і зарубіжних дослідників, зокрема Веретельник В., Кібік О., Котлубай В., Негрі Е., Притькова Н., Слободянюк О., Тао Ф. та інших. Водночас, попри наявність значного наукового доробку, питання комплексного впровадження цифрових двійників

у систему управління проєктами, зокрема у сфері сервісних бізнес-структур, досліджено недостатньо.

Мета і задачі дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є розроблення підходу до інтеграції цифрового двійника у процес створення бізнес-структури з надання послуг доставки їжі та оцінці його ефективності для прогнозування ключових показників діяльності й підтримки управлінських рішень у системі проєктного менеджменту.

Для реалізації поставленої мети випускної кваліфікаційної роботи було виконано наступні задачі:

- дослідити теоретичні основи технології цифрових двійників та особливості їх застосування в системах управління проєктами;
- проаналізувати світовий та вітчизняний досвід упровадження цифрових двійників у практику проєктного менеджменту;
- провести аналіз конкурентного середовища та ринкових умов для створення бізнес-структури з надання послуг доставки їжі;
- розробити цифрову модель (цифровий двійник) бізнес-структури доставки їжі, що дозволяє прогнозувати ключові показники його діяльності;
- оцінити економічну ефективність та ризики впровадження цифрового двійника в систему управління проєктом створення бізнес-структури доставки їжі;
- сформулювати практичні рекомендації щодо масштабування та подальшого розвитку бізнес-структури з інтеграцією цифрового двійника в процеси планування та контролю.

Об'єктом дослідження є процес управління проєктом створення бізнес-структури доставки їжі в умовах цифрової трансформації економіки.

Предметом дослідження є теоретичні підходи та практичні аспекти впровадження технології цифрового двійника в систему управління проєктом для підвищення ефективності планування, контролю та прогнозування результатів діяльності бізнес-структури.

Методи дослідження. У процесі роботи використано комплекс наступних методів: аналіз і синтез наукових джерел; порівняльний аналіз; економіко-статистичний аналіз; маркетингові дослідження; метод експертних оцінок; факторний аналіз конкурентоспроможності.

Інформаційну базу дослідження становлять наукові праці вітчизняних і зарубіжних дослідників; статистичні матеріали та аналітичні огляди; офіційні дані та відкриті матеріали служб доставки їжі; результати власних досліджень автора.

Практичне значення отриманих результатів. Основні теоретичні аспекти роботи та її практичні результати були представлені на XIV Всеукраїнській науковій конференції здобувачів вищої освіти та вчених «Економіко-правовий розвиток сучасної України» (м. Одеса, 21 листопада 2025 р.) та I Міжнародній науково-практичній конференції «Економіка бізнесу цифрової глобалізації: маркетинг і логістика» (м. Одеса, 21 листопада 2025 р.). По тематиці роботи була опублікована фахова наукова стаття «Цифрові двійники в інформаційній системі підтримки управлінських рішень». *Наукові перспективи: журнал*. 2025. № 10(64) 2025. С. 610-620.

Структура роботи обумовлена визначеною метою і завданнями дослідження. Робота складається зі вступу, трьох розділів та взаємопов'язаних підрозділів, висновку та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У СИСТЕМІ ПРОЄКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

1.1. Сутність і принципи технології цифрових двійників у контексті управління проєктами

У період другої промислової революції ключова роль у промисловому розвитку належала фізичному простору. Люди, які знаходилися на невеликій відстані один від одного, могли разом створювати ті чи інші фізичні об'єкти з метою вирішення важливих завдань проєктування та виробничої діяльності. Проте підвищення рівня продуктивності та ефективності промислових підприємств супроводжувалося низкою суттєвих обмежень, зокрема географічних та технологічних, що знижувало гнучкість виробничих процесів.

Третя промислова революція другої половини 20 століття принесла можливість створювати паралельно фізичному ще й віртуальний простір завдяки різноманітним новітнім інструментам моделювання, комп'ютерів і мережі Інтернет. Такий простір дозволяв створювати віртуальні активи та виконувати роботу з ними за допомогою потужних обчислювальних засобів, що надавало доступ до них за допомогою віддаленої взаємодії. Безперечно, поява можливості створення віртуального простору дозволило значно підвищити ефективність виробничої діяльності.

Нині людство перебуває на етапі четвертої промислової революції (Індустрії 4.0), що характеризується стрімким розвитком інформаційних технологій нового покоління великих даних, хмарних обчислень, Інтернету речей і штучного інтелекту. У сфері інформаційних технологій нового покоління (великі дані, хмарні обчислення, Інтернет речей, штучний інтелект) спостерігається стрімкий розвиток, а віртуальний простір набуває все більшу

роль у різних сферах діяльності людей. Можна наголосити на тому факті, що можливість безшовної інтеграції двох просторів стає основним вектором розвитку для промислових виробництв, а в кібер-фізичному синтезі криється новий потенціал для підвищення ефективності компаній на всіх стадіях виробництва.

Технологія цифрових двійників є інтеграційною і водночас драйверною технологією, що забезпечує технологічні прориви та сприяє переходу бізнес-структур і промислових підприємств на нові етапи розвитку, формуючи конкурентні переваги на глобальному ринку.

З розвитком інформаційних технологій нового покоління концепція цифрового двійника набула широкого поширення як ефективний інструмент візуалізації, прогнозування та управління складними системами. Однак сама концепція не є новою, її первісний опис зустрічається в літературі ще з 20 століття. Вона була вперше описана Майклом Гривзом у рамках управління життєвим циклом продукту (PLM) 2002 року в університеті Мічігану [12]. Запропонована модель включала реальний і віртуальний простір, а також сполучний механізм, для того, щоб обмінюватись інформацією між ними. Незабаром модель почала називатися «Модель дзеркальних просторів». Схожа технологія притаманна «Дзеркальним світам», які були представлені Девідом Гелернтером 1991 року. Концепція являла собою деякі моделі, що імітують фізичний простір, спираючись на дані реального світу. У роботі Кері Фрамлінга, Яна Холмстрома, Тімо Ала-Риску, Мікко Карккайнена було запропоновано вирішення проблеми неефективності передачі даних виробництва для керування життєвим циклом продукту на папері.

Рішення являло собою модель, в якій у всіх елементів продукту є віртуальні аналоги. Пізніше, 2006 року, «Модель дзеркальних просторів» Майкла Гривза стала називатися «Моделлю дзеркаловання інформації». Акцент у моделі було зроблено на тому, що для одного реального простору існує кілька віртуальних аналогів, які дозволяють проводити дослідження об'єктів. Через обмеженість технічних можливостей того часу концепція

цифрового двійника залишалася переважно теоретичною і не мала практичної реалізації [12].

Термін «цифровий двійник» був вперше представлений широкому загалу в 2010 році в дорожній карті інтегрованих технологій НАСА в області технологій: моделювання, інформаційні технології та обробка. Він був описаний так: «Цифровий двійник - це інтегрована мультифізична, багатомасштабна симуляція транспортного засобу або системи, в якій використовуються найкращі доступні фізичні моделі, оновлення датчиків, історія парку і т.д., щоб відобразити життя відповідного літаючого близнюка» [20]. У 2014 році був опублікований технічний документ щодо використання цифрових двійників, та тривимірна модель для представлення їхньої структури стала широко обговорюватися в науковому співтоваристві.

Більш сучасне визначення цифрового двійника в літературі надано Старком та Дамерау у 2019 році, воно звучить як «...цифрове представлення активного унікального продукту [...] чи унікальної системи продуктів та послуг [...], яке включає в себе його вибрані характеристики, властивості, умови та поведінку за допомогою моделей, інформації, а також даних у рамках одного або навіть кількох етапів життєвого циклу»[22].

Посилаючись на визначення НАСА, найважливішою характеристикою цифрового двійника було створення найточнішого віртуального уявлення реального фізичного продукту. Більшість публікацій дотримуються цього визначення, прагнучи більшої конвергенції реального та віртуального простору. Хоча більшість публікацій сходяться у думках щодо віртуального простору, вони розходяться щодо реального простору. Деякі мають на увазі під реальним простором безпосередньо продукцію, деякі розглядають як реальний простір активу компанії. Інші розширюють поняття ще далі і включають у свій розгляд цілі системи. Згідно з Куном (2017) [17], крім фізичних продуктів, близнюк також може представляти нефізичні "речі", такі як послуги.

Узагальнюючи наукові підходи, можна констатувати, що цифровий двійник це віртуальна модель фізичного об'єкта або процесу, яка перебуває у двосторонньому інформаційному зв'язку з ним у режимі реального часу, забезпечуючи аналіз, прогнозування та оптимізацію його функціонування.

Концепція використання «двійників» почала застосовуватися задовго до появи вищезгаданого поняття. Вперше технологія була використана у програмі НАСА «Аполлон», де було збудовано як мінімум два ідентичні космічні кораблі, щоб можна було відображати його стан під час місії. Один корабель, що залишився на землі, був названий близнюком. Двійник широко використовувався для тренувань під час підготовки до польоту. Під час політної місії він був задіяний для моделювання альтернатив на земній моделі, де доступні польотні дані використовувалися для максимально точного відображення умов польоту і, таким чином, допомагали астронавтам на орбіті у критичних ситуаціях. З цього погляду, кожен вид прототипу, використовується для відображення реальних умов роботи й у моделювання поведінки об'єкта у час, можна як близнюка.

Іншою формою «апаратного» близнюка є «Залізний птах» – наземний інженерний інструмент, що використовується в авіаційній промисловості для інтеграції, оптимізації та перевірки життєво важливих авіаційних систем [15]. У зв'язку із зростаючою потужністю технологій моделювання все більше та більше фізичних компонентів замінюється віртуальними моделями в Iron Bird. Це дозволяє використовувати концепцію Iron Bird на більш ранніх циклах розробки, навіть коли деякі фізичні компоненти ще недоступні. Подальше поширення цієї ідеї на всі фази життєвого циклу призводить до повної цифрової моделі фізичної системи: цифровий двійник [17].

Практичне застосування концепції цифрового двійника розпочалося значно пізніше, коли розвиток обчислювальної техніки, сенсорних систем і цифрових мереж забезпечив технічну можливість створення взаємопов'язаних віртуальних копій фізичних об'єктів. У 2011 році Військово-повітряні сили США застосували цю технологію для вирішення таких завдань, як проведення

технічного обслуговування та розрахунок прогнозного терміну служби літаків [20]. До 2025 р. планується розробити повноцінний цифровий двійник космічного апарату, тобто апаратний «блізняк», який існував у часи проєкту «Аполлон», переросте вже на цифрового близнюка, який буде повномасштабно відбивати стан об'єкта.

Концепція цифрового двійника сформувалася у процесі розвитку технологій моделювання об'єктів у віртуальному середовищі в системах автоматизованого виробництва (CAM) та проєктування (CAD), управління життєвим циклом виробу (PLM) та даними про виріб (PDM).

Сам термін цифровий двійник був вперше використаний Майклом Гривсом у 2002 році для опису віртуального подання фізичного продукту чи системи у вигляді цифрової копії, яку можна використовувати для дослідження параметрів та поведінки модельованого об'єкта всередині симуляції, що працює паралельно життєвому циклу реального об'єкта [11]. Точніше визначення цифрового двійника Гривс та Вікерс сформулювали у 2017 році: «Віртуальний продукт, що детально описує реальний фізичний продукт і містить у собі всю необхідну інформацію від мікрорівня до макрорівня, що дозволяє інтегрувати дані у віртуальну модель». Однак, це визначення обмежує об'єкт моделювання фізичним продуктом і не розкриває суть та архітектуру цифрового двійника(ЦД).

Цифровий двійник тісно пов'язаний із областю імітаційного моделювання, так як часто включає імітаційну модель як один з компонентів для моделювання системи у віртуальному просторі. На даний момент і імітаційні моделі, і цифрові двійники активно реалізуються та впроваджуються в цифровий ландшафт підприємств, але через неточність визначень у сфері цифрового двійника часто відбувається підміна цих двох понять – реалізована імітаційна модель найчастіше не є повноцінним цифровим двійником через відсутність інших необхідних компонентів.

Для дослідження відмінностей у визначеннях цифрового двійника на основі інформації з низки джерел складено таблицю з авторськими поняттями ЦД.

Таблиця 1.1

Перелік визначення терміну «цифровий двійник»

Джерело	Визначення цифрового двійника
Semeraro C. та ін. Digital twin paradigm: A systematic literature review	Набір адаптивних моделей, що симулюють поведінку фізичної системи у віртуальній системі, отримуючи дані в реальному часі оновлення паралельно життєвому циклу цієї системи. Цифровий двійник повторює фізичну систему для передбачення помилок та можливостей для зміни, щоб приписати дії в реальному часі з оптимізації чи пом'якшення непередбачених подій через спостереження та оцінки операційної профільної системи
Greif T., Stein N., Flath C.M. Peeking into the void: Digital twins for construction site logistics	Цифрове представлення фізичного об'єкта
Purcell W. Neubauer T. Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review	Подання активного унікального продукту, який може бути реальним пристроєм, об'єктом, машиною, послугою, нематеріальним активом або системою, що складається з продукту та пов'язаних з ним послуг
Trauer J. та ін. What is a digital twin? – definitions and insights from an industrial case study in technical product development	Віртуальне динамічне подання фізичної системи, яка підключена до неї протягом всього її життєвого циклу для двоспрямованого обміну даними
Van Der Valk H. та ін. Supply Chains in the Era of Digital Twins – A Review	Віртуальне представлення фізичного артефакту, яке містить двонаправлений потік даних між віртуальним та цифровим уявленням. Воно надає рішення для операцій з даними, тобто симуляції, оптимізації та моніторингу
Melesse T.Y., Di Pasquale V., Riemma S. Digital twin models in industrial operations: A systematic literature review	Жива модель системи чи фізичного активу, яка може постійно адаптуватися до операційних змін на основі зібраних онлайн-даних та інформації, щоб прогнозувати майбутнє відповідного їй фізичного двійника

Джерело: створено автором за [9, 10, 15, 17, 18, 27]

Аналіз визначень показує, що у багатьох дослідженнях використовується вихідне визначення Гривса, доповнюване новими компонентами чи виділенням окремих характеристик чи функцій цифрового двійника. При цьому окремі визначення можуть також відповідати інформаційним системам інших класів без додаткових уточнень самої концепції ЦД.

Так у дослідженні «Digital Twin: Generalization, characterization and implementation» за підсумками аналізу різних визначень цифрового двійника формується узагальнююче визначення ЦД: «віртуальне подання фізичної системи та пов'язаного з нею оточення та процесів, яке оновлюється за рахунок передачі інформації між фізичною та віртуальною системами» [19]. Автори відокремлюють концепцію ЦД від інших систем (цифрова модель, імітаційна модель, сурогатні моделі, інші) за рахунок виділення відмінностей між ними – при реалізації цифрового двійника створюється віртуальне подання одного екземпляра фізичної системи, інформація з якого при цьому використовується для регулярного оновлення стану віртуального уявлення.

Таким чином, ключовою відмінністю цифрового двійника від систем моніторингу, збору та обробки даних полягає в наявності двостороннього зворотного зв'язку між віртуальним компонентом системи та реальним об'єктом. Це також є основною відмінністю ЦД від цифрової моделі, яка надає лише можливості симуляції поведінки реального об'єкта чи системи без прямого впливу на об'єкт, що моделюється, або систему. Крім цього, в системі цифрового двійника модель повинна детально описувати стани реального об'єкта на всьому його життєвому циклі, тобто бути не тільки віртуальною цифровою моделлю, а й динамічною імітаційною моделлю, що розвивається в часі процесу, з описом змінних властивостей та станів об'єкта.

Концепцію цифрового двійника часто пов'язують із Індустрією 4.0, тому якщо розглянути галузеві стандарти, то можна також знайти різні визначення та поняття цифрового двійника, наведених у: NASA [20], Міжнародна рада з системної інженерії у своєму стандарті Книга знань з системної інженерії

(Systems Engineering Book of Knowledge, SEBoK) [21], CIRP Енциклопедія виробничої інженерії [29] та ін. У цілому ряді джерел на тему цифрових двійників, за підсумками вивчення множини визначень ЦД, виражається загальний висновок про наявність значних відмінностей між визначеннями у наукових працях та прикладних проектах, що ускладнює координацію досліджень та вводить розбіжності у підсумкових моделях ЦД. Таким чином, на даний момент через велике розмаїття визначень у наукових працях та стандартах видно, що в галузі ще не склалося єдине поняття для цифрового двійника, не визначено базові властивості та компоненти ЦД.

В силу історичного походження більшість наведених понять ЦД розглядає як реальну систему життєвого циклу продукту, проте ряд дослідників [26] наголошують на необхідності розглядати та визначати властивості, стан та поведінку реального об'єкта.

Поняття «життєвого циклу» об'єкту є виключно важливим у розумінні призначення цифрового двійника, але потребує ширшої інтерпретації у контексті розгляду поведінки реальної системи на всьому циклі її існування (залежно від специфіки фізичної системи) у процесі розвитку і трансформації, а значить передбачає аналіз множини (не тільки поточних) станів фізичної системи як процесу, що змінюється в часі.

Реальними системами, для яких створюється цифровий двійник, можуть бути не лише окремі вироби чи технічні пристрої, а й складні процеси, виробничі системи, бізнес-структури або цілі організаційні мережі. Дуже умовна типологія цифрових двійників, наведена в науковій літературі, показує, що цифровий двійник може бути моделлю деякого компонента, системою компонентів або системою систем.

Цифровий двійник визначається не лише даними, як його намагаються визначити низка дослідників. Більшість дослідників робить акцент на обробці даних, що надходять з фізичної системи у віртуальний простір, що фактично узагальнює поняття цифрового двійника із сучасними системами моніторингу та стеження [21]. Крім того, збагачення цифрової моделі даними з реальної

системи є важливою складовою, але не враховує двонаправлений характер інформаційного обміну між фізичною системою та її модельним аналогом.

Необхідно розглядати ширше функціональність ЦД, яка включає не тільки процедури обробки даних, що передаються як з об'єкта на модель, так і у зворотному напрямку (двонаправлені інформаційні потоки та методи інтелектуального аналізу даних), а також детальний опис поведінки реальної системи, та комунікаційні інтерфейси, що забезпечують високу ступінь візуалізації стану та поведінки реального та модельованого об'єкта.

Таким чином, важливо підкреслити, що взаємодія з реальною (фізичною) системою має бути двоспрямованою. Зібрані з фізичного простору дані оновлюють віртуальну модель. Фізичний близнюк покращує свої характеристики в режимі реального часу, використовуючи знання, одержані з моделі (віртуального прототипу).

Ряд визначень цифрового двійника, представлених у науковій літературі, трактуються через поняття цифрової моделі, що відтворює реальні властивості системи, що не коректно - наведений вище аналіз однозначно демонструє, що цифрова модель є лише компонентом такого складного артефакту, яким є цифровий двійник.

У контексті управління проєктами технологія цифрових двійників набуває особливої ваги, оскільки забезпечує можливість моделювання сценаріїв реалізації проєктів, прогнозування результатів та оптимізації рішень на основі реальних даних. Цифрові двійники дозволяють підвищити точність планування, мінімізувати ризики, покращити контроль за виконанням робіт та забезпечити прозорість процесу управління проєктом.

Отже, сутність цифрового двійника у системі проєктного менеджменту полягає у створенні інтегрованої віртуальної моделі проєкту, що відображає його параметри, стан і прогнозовані результати на всіх етапах життєвого циклу. Такий підхід забезпечує підвищення точності планування, мінімізацію ризиків та ефективну підтримку управлінських рішень у режимі реального часу.

1.2. Еволюція та моделі використання цифрових двійників на етапах життєвого циклу проєктів

Технологія цифрових двійників розглядається як інноваційний підхід, заснований на використанні віртуальних моделей для відображення та моделювання реальних об'єктів, процесів чи систем. М. Гривз запропонував концепцію цифрового двійника в 2003 р., ґрунтуючись на передумові, що кожна система складається з двох структур: фізичної – завжди існуючої, та нової віртуальної, що містить всю інформацію про фізичну систему [19], що означає наявність дзеркального відображення чи системи двійників між реальним та віртуальним простором і навпаки, тобто цифровий двійник – це інформаційна конструкція фізичного двійника. Мета використання цифрового двійника полягає у наданні такої ж чи кращої інформації, ніж у фізичного двійника, та ключове припущення полягає в тому, що тип, рівень деталізації та обсяг інформації, що міститься в цифровому двійнику, визначається варіантами використання.

Проблема розроблення цифрових двійників полягає в тому, що різні нормативні організації пред'являють об'єктам різні вимоги, які можуть змінюватись протягом життєвого циклу конструкції [17]. Підхід, заснований на безперервному інформаційному супроводі життєвого циклу об'єкта, передбачає доцільність створення цифрових двійників на етапі проєктування. Проте паралельне проєктування об'єктів та розробка цифрових двійників пов'язані з певними труднощами.

У світлі зазначених обставин виділимо принципи, яких слід дотримуватись при розробці створення цифрових двійників.

1. Структурування та модульність. Під час розроблення цифрового двійника важливим є формування його внутрішньої структури, яка відповідає структурі об'єкта, що моделюється. Оскільки нормативні вимоги, типи споруд та особливості застосування цифрових двійників різноманітні, методика має

включати базові та специфічні елементи структури. Головна концепція повинна відповідати базовій моделі структури цифрових двійників і бути узгодженою з інструментами вимірювання та моніторингу. Приватні методики або модулі можуть використовуватися для уточнення базової моделі цифрового двійника або додавання окремих функціональних модулів, що залежить від аспектів застосування цифрових двійників.

2. Структурна ієрархія та розстановка підмоделей. Розробка детальної моделі конструкції відповідно до локальних геометричних і міцнісних характеристик може вимагати досить багато зусиль і не завжди дає гарантію якості внаслідок можливих прорахунків. У такому разі рекомендується будувати ієрархічну систему (загальна модель, підмоделі прольотів, перекриттів, рам, вузлів і т. д.), використовуючи методи підмоделювання. Усі підмоделі прив'язуються до моделі за допомогою граничних умов, що автоматично визначаються, виходячи з аналізу моделі, і це допомагає досить вільно варіювати параметри та організацію підмоделі в міру потреби, підтримуючи при цьому необхідний ступінь точності аналітики.

3. Зворотній зв'язок та управління. Параметри моделі коригуються за результатами аналізу фізичних даних, що надходять у ході різних етапів життєвого циклу, включаючи показання датчиків, виявлення та розпізнавання несправностей та відмов, модернізаційні процеси і т. д.. Паралельно з цим обчислювальні експерименти з використанням моделі можуть передбачити та контролювати процеси, що визначають технічний стан.

4. Мотивація поліпшення правил. Нормативи, складені досить вузьким колом експертів для кола людей з різною технічною освітою та досвідом, лише приблизно та недостатньо повно відображають фізичну реальність та практичний рівень користувачів. Тому нормативи при розробці регламентів мають бути максимально ясними: вихідні припущення, методи та залежності повинні бути зрозумілі і мати чіткий фізичний зміст. Слід чітко визначити дані та виявити способи подолання невирішених питань та факторів невизначеності.

Дані для цифрових двійників умовно поділяють на чотири основні групи: дані про фізичні об'єкти, дані віртуальної моделі, дані про сервіси та знання про предметну область. Динамічна інформація про фізичний об'єкт (наприклад, його стан, параметри навколишнього середовища та перешкоди) може збиратися в режимі реального часу за допомогою датчиків, вбудованих систем, радіочастотної ідентифікації (RFID) і т.д.. У той час як статичні дані, такі як атрибути, характеристики та функції об'єкта, доцільно отримати за допомогою автономних вимірів та відбору проб; дані, пов'язані з віртуальною моделлю, як правило, генеруються шляхом моделювання та перевірки цих геометричних, фізичних, поведінкових та керуючих моделей. Дані можуть бути зібрані за допомогою довідників, журналів моделювання та вихідних даних моделювання у реальному часі. Зокрема, оскільки моделювання на основі фізичних моделей (наприклад, комп'ютерне моделювання гідродинаміки), як правило, забирає багато часу і навіть є неточним, для підвищення ефективності та точності може бути застосований гібридний метод, що поєднує фізичні моделі та підходи, що базуються на даних. Дані, що стосуються сервісу, генеруються на основі прикладних служб та функціональних сервісів та можуть бути отримані протягом усього процесу створення, експлуатації та технічного обслуговування сервісу. Знання про предметну область зазвичай збираються експертами, краудсорсингом, базами знань, історичними даними тощо.

За допомогою цифрового двійника можна аналізувати та змінювати експлуатаційні характеристики виробів, що випускаються. Цифровий двійник можна використовувати для моделювання всього виробничого процесу, від сировини до готового виробу, перевірити всілякі сценарії і розраховувати реакцію компонентів системи в різних умовах. Таким чином, виробники можуть своєчасно визначати складності, що виникають, і вдосконалювати систему для досягнення більшої надійності [20].

В умовах інтелектуального виробництва цілий комплекс сенсорних датчиків та інших вимірювальних пристроїв забезпечує роботу з'єднаного з

ними цифрового двійника в режимі реального часу надаючи актуальну інформацію на основі даних, зібраних у процесі виробництва, за рахунок чого спостереження та контроль за системою стають якіснішими та зручнішими та передбачають своєчасне внесення відповідних змін [25].

Реалізація цифрового двійника та відповідна цьому побудова цифрової моделі та засоби аналізу дозволяють відмовитися від розробки та виробництва фізичних зразків. Цифрові двійники також служать для відстеження та вдосконалення всієї виробничої лінії і всього технологічного ланцюжка, починаючи зі стадії задуму та закінчуючи виходом серійної продукції. За допомогою цифрових двійників можна вирішувати задачі оптимізації дизайну моделей або їх конструктивних особливостей при проєктуванні із залученням математичного методу знаходження багатокритеріальних парето-оптимальних рішень. Такий підхід дозволяє наочно і досить легко провести попереднє комплексне опрацювання дизайну виробу у віртуальній реальності та домогтися необхідної точності та якості продукції. Цифрові двійники підтримують здатність виробників своєчасно розпізнавати потенційні проблеми та реагувати на них, скорочуючи час простою та підтримуючи стабільно високу продуктивність [12].

Крім цього, можна використовувати цифрові двійники для проведення випробувань та атестації технічних нововведень та пристроїв перед їх запуском у виробництво. Такі заходи значно скорочують ризик небезпечних несправностей та зменшують терміни виходу нових товарів на ринок. Цифрові двійники надають велику інформацію щодо планованих експлуатаційних властивостей, що сприяє проведенню більш глибоких досліджень та розробки нових продуктів. Ці дані можуть бути використані компаніями та для внесення необхідних змін до запуску продукту у виробництво [12].

Мета стратегії використання цифрового двійника – домогтися вищої якості продукції або сервісу, удосконалити технологічні процеси у всьому ланцюжку створення вартості. При виготовленні деталей для конкретного обладнання або лінії виробництва можуть бути створені цифрові двійники для

забезпечення контролю у режимі реального часу за перебігом технологічних процесів. Це передбачає моніторинг таких параметрів, як, наприклад, температура, тиск і швидкість потоку, здатних впливати на показники якості готового продукту. При аналізі даних цифрового двійника можуть бути встановлені області, які потребують оптимізації або виробничих змін процесів. Наприклад, якщо буде виявлено, що певний верстат випускає комплектуючі з більшою часткою браку, ніж інші, до виробничого процесу можуть бути внесені корективи для підвищення якості. Цифрові двійники також можна використовувати для відстеження споживання енергії в процесі виготовлення деталей та пошуку областей, де доцільно заощадити гроші. Постійні покращення на виробництві також можуть бути досягнуті шляхом відстеження в реальному часі робочих характеристик обладнання у порівнянні з очікуваннями за допомогою цифрових двійників [14].

Приклади успішного застосування наступні:

1) Цифрові двійники у виробництві. Rolls-Royce використовує цифрових двійників у своїй програмі IntelligentEngine. Програма створює цифрових двійників для кожного двигуна. При цьому вони можуть збирати дані більш ніж десятку параметрів від бортових датчиків. Це дозволяє їм контролювати роботу двигуна в режимі реального часу під час польотів, прогнозуючи необхідність технічного обслуговування та скорочуючи час простоїв.

2) Цифрові двійники в автомобілебудуванні. Volvo, відома автомобільна компанія, що забезпечує максимальну безпеку пасажирів, використовує цифрові двійники. Вони створюють віртуальні копії для тестування та випробування різних матеріалів та аеродинаміки нових конструкцій автомобілів. Таким чином, вони можуть вибрати ідеальну конструкцію, яка дозволить покращити продуктивність та створити економічні моделі.

3) Цифрові двійники у будівництві. Cuby Technologies, Inc. використовує технологію цифрових двійників для забезпечення виробництва деталей, необхідних для збірного будівництва у кількості, що відповідає необхідному обсягу. Згідно зі статистикою, до 40% усіх твердих відходів у США припадає

на процеси будівництва та зносу. Застосування попереднього виготовлення всіх деталей дозволяє знизити обсяг відходів до 90%.

Вивчення та вдосконалення процесів за допомогою інтелектуального аналізу у поєднанні з моделюванням забезпечує прозорість поточних процесів без потреби покладатися на інтуїцію. Це дозволяє проводити аналіз «що, якщо», що значно ефективніше, оскільки надає реальне уявлення про події та дозволяє проводити моделювання змін до їхнього впровадження. Часто внесення змін може не дати очікуваного результату або створити нові проблеми в інших областях.

Індустрія 4.0 та подальші зусилля щодо створення інтелектуального ланцюжка поставок дозволили досягти значних успіхів у вдосконаленні операцій та побудові гнучких ланцюжків поставок, але без технології цифрових двійників ці зусилля вимагали б значних витрат.

Проектування та розробка продукту тепер здійснюються більш ефективно та оперативно завдяки ітеративному моделюванню з урахуванням різноманітних обмежень. Так можна досягти отримання найбільш вдалого та оптимального дизайну. Цифрові двійники використовуються, зокрема, під час проектування всіх комерційних літаків. Цифрові двійники надають інформацію про стан запасів та знижують до мінімуму проблеми, пов'язані з ланцюжком поставок.

Постійний моніторинг якості виробів з використанням зворотного зв'язку від машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє запобігати можливим проблемам і підвищує якість продукції. Наприклад, остаточна перевірка фарбування автомобілів виконується за допомогою комп'ютерного зору, заснованого на технології цифрових двійників. Використання цифрових двійників дозволяє оптимально контролювати процес заміни деталей: з їх допомогою забезпечується оперативний зворотний зв'язок, що дозволяє запобігти поломці або виходу із ладу устаткування.

Можливості та переваги реалізації цифрового двійника в системах управління проектами:

- орієнтація на бачення майбутнього: основна галузь практичного використання цифрового двійника є прогнозування майбутнього стану організації та аргументація при прийнятті оперативних та стратегічних управлінських рішень;

- універсальність є описом усіх функціональних галузей знань побудовано на загальних засадах, завдяки чому вони легко інтегруються у рамках єдиної моделі;

- системність є набір знань, умінь та навичок працівників, який утворює єдиний, взаємопов'язаний комплекс показників, при цьому відстеження та розгляд динаміки руху будь-якого показника в будь-якій частині системи здійснюється на основі сукупності причинно-наслідкових залежностей;

- постійне оновлення та вдосконалення — модель знаходиться в постійному процесі модифікації: алгоритми коригуються за результатами план-фактного та експертного аналізу, при необхідності в модель вноситься свіжа, або додаткова, або детальніша інформація.

Незважаючи на очевидні переваги використання цифрових двійників, впровадження цієї технології є стратегічним рішенням, яке визначить майбутнє виробництва на багато років вперед, але сьогодні воно стикається з багатьма проблемами. Основною з них стає необхідність проведення величезного обсягу робіт з цифровізації всіх об'єктів та технологічних процесів, а також наявність гострого дефіциту кваліфікованих фахівців у даній галузі. Тому немає універсального рішення щодо цифровізації для різних компаній вибір системи буде різним, що залежить від різних факторів, таких як можливість інтеграції, витрати, перспективи розвитку, відповідність стратегії організації та ін.

Технології цифрового двійника знаходяться лише на початку свого шляху, означає, що для повного врегулювання законодавства та створення професійних стандартів поки що не вистачає досвіду. Саме це створює парадоксальну ситуацію, оскільки багато підприємств впроваджують цифрові двійники з метою підвищення своєї конкурентоспроможності, але не

надходять запити на цифрові форми з боку державних замовників та інших зацікавлених сторін [20]. У результаті ключові документи виробництва, такі як креслення та технічні звіти, залишаються у паперовій формі, що пов'язано з витратами при впровадженні цифрових двійників.

Серед значних проблем розвитку цифрових двійників виокремлюється питання забезпечення інформаційної безпеки. Використання цифрових двійників змінює схему управління, делегуючи тактичні аспекти програмно-апаратним засобам та зосереджуючи операторів на стратегічних аспектах. Однак це також призводить до нових загроз, пов'язаних із адекватністю цифрової моделі. Оскільки повна прозорість життєвого циклу є найважливішою особливістю концепції цифрового двійника, дані про окремі активи також повинні відображати його загальний життєвий цикл. Дані про активи повинні включати інформацію про їх виробництво, а не лише про їх використання. Наприклад, облік активів для матеріалу з вуглецевого волокна повинні включати не тільки дані про навколишнє середовище під час виробничих процесів, а також дані про навколишнє середовище під час його виробництва. Отримання даних про активи від постачальника, які історично вважалися такими, що виходять за рамки виробничого застосування, потребує тісної співпраці з кількома рівнями ланцюжка поставок.

Інший вирішальний момент – витрати на використання. Компанія в першу чергу має бути налаштована на вкладення коштів у формування технологічної платформи, у розробку ПЗ, у підготовку кадрів, маркетинг та рекламу, і в заходи безпеки. Мінімальна вартість реалізації цифрового двійника, згідно з деякими оцінками, досягає близько 50 000 дол. США [20]. Для того, щоб реалізувати складні проекти, потрібні значні часові ресурси та більш серйозні витрати на розробку.

У багатьох галузях впровадження високотехнологічних наукомістких рішень цифрового двійника розширює спектр доступних інструментів для кращого розуміння виробничих та управлінських процесів та, відповідно,

підвищення їх ефективності та глибшої оптимізації з метою виконання як тактичних, так і стратегічних завдань.

Надалі прогрес та результативність впровадження цих технологій визначаються подоланням існуючих бар'єрів та формуванням інфраструктури, що сприяє розгортанню цього напрямку в самих різних галузях економіки та соціуму.

Останнім часом використання технологій інтернету речей, великих даних та штучного інтелекту відкрило нові можливості в галузі цифрових двійників. Впровадження цих методів забезпечує створення ідеального цифрового двійника та відкриває нові дослідні завдання та можливості, наприклад, вже з 2015 р. у різних галузях було розроблено кілька цифрових двійників із використанням AI-ML та аналізу великих даних. Позитивні сторони використання ІІ при розробці цифрових двійників показані [13]:

1) ІІ цифрових двійників збирає, аналізує та обробляє дані з датчиків та пристроїв IoT. У створеній основі цих даних віртуальної моделі розпізнаються її обмеження у фізичному світі. Проєктувальники можуть ітераційно доопрацьовувати проєкт на основі інформації щодо реальних умов.

2) При використанні технології цифрового двійника виконується спостереження та контроль за різними компонентами, вузлами, деталями і самими виробами чи продуктами протягом усього їх життєвого циклу. Аналітика великих даних та засоби ІІ дозволяють виробникам визначати найкращі стратегії та моделі з урахуванням реальних даних. В режимі реального часу віртуальні моделі автоматично коригуються, щоб передбачити, прогнозувати та реагувати на відхилення.

3) Проєкти цифрових двійників спрямовані на безперервну та послідовну модернізацію всіх робочих процедур та планування заходів з технічного обслуговування та ремонту фізичних систем на основі прогнозів віртуальних моделей.

Отже, у процесі еволюції сучасного управління проєктами цифрові двійники набувають особливого значення як провідного фактора,

забезпечуючи серйозні можливості та широкі перспективи у різних галузях. З їх появою стає можливим проводити ретельне достовірне моделювання, налагоджувати точний контроль та регулювання технологічних процесів, скорочувати рівень утворення відходів та забруднення навколишнього середовища, планомірно та стабільно вдосконалювати показники якості продукції та досягати оптимального витрачання наявних ресурсів. Тому сучасному бізнесу цифрові двійники потрібні як надійний помічник та потужний засіб формування та підтримки майбутньої виробничої системи.

З використанням цифрових двійників стає можливим більш достовірне прогнозування подій, а глибокий аналіз даних сприяє виробленню грамотних та обґрунтованих рішень. Наявність постійного зворотного зв'язку призводить до якісних змін у процесах управління і дозволяє завчасно попереджати можливі помилки та несприятливі ситуації. Різноманітні технологічні засоби цифрового двійника відкривають доступ до нових методів та розробок, які забезпечують високий рівень організації та гармонізації виробництва, знижують витрати, підвищують якість та загальну продуктивність, що забезпечує фундамент для нововведень та інноваційного розвитку виробництва та відкриває нові горизонти для побудови, налагодження та запуску наукомістких, більш пластичних, життєздатних та екологічно чистих виробництв.

Загалом і в цілому, цифрові двійники мають потенціал зробити справжній переворот у способах та методах організації виробництва, зробивши їх зручнішими, мобільними, пластичними та раціональними, що в результаті серйозно позначиться на перспективах розвитку промисловості та бізнесу.

З огляду на еволюцію та розвиток концепції цифрових двійників, їх використання охоплює всі етапи життєвого циклу проекту. На етапі ініціації цифровий двійник використовують для попередньої оцінки доцільності проекту та ідентифікації основних ризиків; на етапі планування для формування графіків, бюджетів та оптимального розподілу ресурсів; під час

виконання для моніторингу планових і фактичних показників та виявлення відхилень; на етапі контролю для аналізу альтернативних сценаріїв і підтримки рішень щодо управління ризиками; на етапі завершення для накопичення досвіду реалізації проєкту та формування бази знань для майбутніх проєктів.

Таким чином, цифровий двійник є універсальним інструментом підтримки управлінських рішень на всіх фазах життєвого циклу проєктів, забезпечуючи інтеграцію даних, прозорість процесів і підвищення ефективності системи проєктного менеджменту.

1.3. Зарубіжний і вітчизняний досвід упровадження цифрових двійників у практику проєктного менеджменту

Технологія цифрових двійників дістала широке застосування в різних галузях, зокрема у машинобудуванні, автомобільній промисловості, нафтогазовому секторі, суднобудуванні, аерокосмічній галузі тощо.

Доцільно розглянути особливості використання цифрових двійників у різних сферах діяльності.

Одним із найбільш масштабних прикладів є цифровий двійник міста. Так, у Сінгапурі створено повноцінний цифровий двійник міста-держави для відстеження транспортних потоків, рівня забруднення, кліматичних умов та підтримки міського планування.

Найбільшого поширення технологія цифрових двійників набула в автомобільній промисловості. Можна навести низку зарубіжних компаній, що активно використовують цифрові двійники під час створення та експлуатації автомобілів. Зокрема, компанія Siemens допомогла виробнику автомобілів Maserati впровадити на заводі «Джованні Аньеллі» цифровий двійник представницького автомобіля Ghibli, який повністю відповідає фізичному

прототипу. Цифровий двійник відіграв ключову роль у розробці цієї моделі, скоротивши потребу в створенні реальних прототипів, проведенні аеродинамічних випробувань і пробних поїздок. У результаті час розроблення автомобіля було зменшено на 30 %, при цьому модель була спроектована у 27 варіантах, 13 кольорах і 205 конфігураціях. Додатковим ефектом стало скорочення часу виведення моделі на ринок (з 30 до 16 місяців), а завдяки зменшенню часу простою пропускна спроможність виробництва автомобіля Ghibli зросла утричі.

Таким чином, цифрові двійники дають змогу суттєво скоротити витрати бізнес-структур на розроблення нових продуктів. Для більш ніж 30 % підприємств ключовим стимулом їх використання є підвищення якості продукції та зниження собівартості виробництва.

Американська автомобільна компанія Tesla створює цифровий двійник для кожного електромобіля, що сходить з конвеєра. Дані, зібрані з датчиків, дають змогу відстежувати поточний технічний стан автомобіля та виявляти проблеми на ранніх стадіях, запобігаючи дорогим ремонтам. Для забезпечення вищого рівня сервісу Tesla використовує програмне забезпечення цифрового двійника, на основі даних із датчиків оновлює програмне забезпечення транспортного засобу та завантажує оновлення у свої продукти. Такий підхід до розроблення програмного забезпечення, заснований на аналізі фактичних даних, сприяє більш раціональному розподілу ресурсів і підвищенню лояльності клієнтів.

Цифрові двійники стають дедалі більш затребуваними у різних галузях, оскільки їх застосування демонструє відчутне зростання ефективності, зниження витрат та підвищення якості. Наприклад, General Electric використовує цифрові двійники для моніторингу та керування роботою турбін в енергетичному секторі. Використання цифрових двійників дало змогу скоротити час простою турбін на 5–10 %, що забезпечило економію значних коштів на ремонті та експлуатаційних витратах; прогнозне обслуговування

збільшило термін служби турбін на 20–25 %, а оптимізація їх роботи за результатами аналізу даних підвищила ефективність на 3–5 % [16].

В автомобільній промисловості Toyota застосовує цифрові двійники для імітаційного моделювання та модернізації виробничих ліній, що дає змогу тестувати нові процеси й технології без зупинки виробництва. Використання цифрових двійників підвищило продуктивність на 10–15 %, скоротило час виконання замовлень приблизно на 20 %, а аналіз даних сприяв зменшенню рівня браку на 25 %, що позитивно позначилося на якості продукції [18].

В енергетиці впровадження цифрових двійників компанією Siemens дало можливість знизити енергоспоживання на 10–15 %, прогнозне обслуговування скоротило кількість аварійних ситуацій на 20–25 %, а моніторинг і аналіз даних підвищили загальну надійність роботи електростанцій на 15–20 % [26].

У сфері охорони здоров'я впровадження цифрових двійників у Philips Healthcare дало змогу розробляти індивідуалізовані плани лікування, що покращило результати лікування пацієнтів на 10–15 %. Оптимізація лікування на основі даних знизил витрати на медичні послуги на 20–25 %, а аналіз даних підвищив точність діагностики захворювань на 15–20 % [28].

У логістиці компанія DHL застосовує цифрові двійники для моделювання логістичних ланцюгів і процесів. Це дозволило скоротити середній час доставки на 10–12 %, оптимізація маршрутів та управління запасами зменшила витрати на логістику на 15–20 %, а моніторинг та аналіз даних підвищили точність доставки на 5–7 %. У будівництві компанія Skanska завдяки впровадженню цифрових двійників скоротила час проєктування та будівництва на 10–15 %, оптимізація процесів та тестування у віртуальному середовищі знизили витрати на будівництво на 20 %, а аналіз даних допоміг виявляти та усувати дефекти ще на стадії проєктування, покращивши загальну якість будівництва на 25 % [10].

Наведені приклади демонструють суттєві переваги та ефективність використання цифрових двійників у різних галузях економіки. Цифрові

двійники сприяють удосконаленню систем управління, підвищенню якості продукції та послуг, зниженню витрат і зростанню загальної продуктивності, що робить їх одним з ключових інструментів сучасної цифрової трансформації.

Водночас створення та впровадження цифрових двійників супроводжується низкою проблем і обмежень, які необхідно враховувати для забезпечення успішного використання цієї технології. Однією з основних труднощів є необхідність інтеграції різних систем і джерел даних. Цифрові двійники потребують отримання та оброблення даних у реальному часі з численних джерел, таких як пристрої Інтернету речей (IoT), сенсори й інші інформаційні системи. Серед проблем різноманітність протоколів і стандартів передавання даних, несумісність та складність інтеграції із застарілими системами, а також необхідність забезпечення належної якості й актуальності даних.

Другим важливим аспектом є обробка й аналіз великих масивів даних. Цифрові двійники генерують значні обсяги інформації, яку потрібно аналізувати в режимі, наближеному до реального часу. Це вимагає застосування сучасних технологій і алгоритмів аналізу даних, високопродуктивних обчислювальних ресурсів та розвиненої інфраструктури, а також побудови ефективних систем інформаційної безпеки й захисту даних. Створення точних і надійних моделей складних систем і процесів є складним технічним завданням, оскільки цифровий двійник повинен адекватно відтворювати поведінку реальних об'єктів та процесів, враховуючи численні параметри та фактори й постійно оновлюючись у процесі експлуатації.

Робота з цифровими двійниками на всіх етапах їх розроблення та впровадження передбачає придбання обладнання, створення програмного забезпечення, системну інтеграцію та навчання персоналу, що потребує значних фінансових інвестицій. Важливо підкреслити, що оцінка економічної ефективності цифрових двійників, особливо на початкових етапах, є складним

завданням, оскільки бізнес-структури не завжди можуть достовірно спрогнозувати очікувані вигоди та окупність інвестицій.

Цифрові двійники продовжують еволюціонувати, і їхній потенціал стає все більш очевидним. З розвитком мереж п'ятого покоління (5G) та хмарних обчислень цифрові двійники можуть функціонувати швидше та ефективніше завдяки зниженню затримок передавання даних і збільшенню доступності ресурсів для опрацювання інформації.

Розвиток методів штучного інтелекту та машинного навчання розширює можливості цифрових двійників у сферах прогнозування та оптимізації, що дає змогу точніше передбачати й запобігати відмовам, оптимізувати процеси та формувати нові стратегії управління. Генеративний штучний інтелект також стає потужним інструментом для розроблення інноваційних рішень і модернізації бізнес-моделей.

Для максимального використання потенціалу цифрових двійників важливим є розвиток міждисциплінарних досліджень і співпраці між різними галузями науки та промисловості. Отже, цифрові двійники є однією з найперспективніших і найзначущіших технологій сучасності, що чинить суттєвий вплив на різні галузі та сприяє їх цифровій трансформації. Розширення сфер застосування цифрових двійників відкриває можливості для підвищення ефективності, точності та гнучкості в управлінні об'єктами та процесами, що робить їх невід'ємним елементом майбутнього розвитку економіки.

Типологія цифрових двійників є різноманітною та залежить від рівня деталізації, сфери застосування й використовуваних технологій. Практика розвитку цифрових двійників засвідчує їх зростаючу популярність у промисловості, де вони застосовуються для оптимізації виробничих процесів, розроблення нових продуктів, управління активами, прогнозування відмов та розв'язання інших прикладних завдань.

Водночас, попри очевидні переваги, застосування цифрових двійників пов'язане з низкою викликів, серед яких складність створення й підтримки

цифрових моделей, потреба у великих обсягах якісних даних, необхідність значних обчислювальних ресурсів та відсутність уніфікованих стандартів.

Розуміння ключових характеристик цифрових двійників, розроблення їх типологій і аналіз існуючої практики використання дають змогу бізнес-структурам більш ефективно застосовувати цю технологію для підвищення результативності діяльності та зміцнення конкурентних позицій. Дослідження й розробки у сфері цифрових двійників і надалі відіграватимуть важливу роль у формуванні майбутніх інновацій і забезпеченні сталого розвитку, а подальший розвиток цієї технології є важливим кроком на шляху до більш «розумного» та ефективно керованого світу.

Висновки до розділу 1

Було досліджено теоретичні засади технології цифрових двійників та їхнє значення для сучасних систем управління проєктами.

Аналіз наукових підходів показав, що цифрові двійники є складними віртуальними моделями, які відтворюють стан, поведінку та властивості реальних об'єктів у режимі динамічної взаємодії з фізичним середовищем. Еволюція концепції від простих моделей до комплексних кіберфізичних систем зумовила розширення сфери застосування цифрових двійників у проєктному менеджменті.

Встановлено, що цифрові двійники забезпечують підвищення точності планування, зменшення ризиків, оптимізацію ресурсів і покращення контролю за ходом реалізації проєктів. Розгляд зарубіжного та вітчизняного досвіду впровадження підтвердив значний потенціал технології у різних галузях економіки, а також окреслив основні проблеми та виклики її інтеграції.

Таким чином, цифрові двійники виступають важливим інструментом цифрової трансформації управління проєктами та формують основу для підвищення ефективності сучасних проєктних рішень.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ПЕРЕДУМОВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ПРОЄКТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

2.1. Сучасні тренди цифровізації проєктного управління та ролі цифрових двійників

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки ринок послуг доставки їжі виступає показовим прикладом галузі, у якій поєднуються високий рівень конкуренції, динамічність попиту та активна цифровізація бізнес-процесів. Для таких бізнес-структур ключового значення набуває не лише оптимізація операційної діяльності, а й впровадження інструментів цифрового проєктного управління, зокрема технологій цифрових двійників, які забезпечують більш точне планування, моніторинг та прогнозування результатів реалізації проєктів.

Конкуренція серед сервісів доставки їжі постійно посилюється, і значна частина бізнес-структур намагається залучати споживачів шляхом цінової конкуренції, розширення асортименту та підвищення якості сервісу. Одним із ключових трендів глобалізації є зростання ринку електронної комерції. Персоналізація, мобільність, соціальна комерція, мультимодальність, зростання рівня проникнення Інтернету та збільшення частки онлайн-покупців стають основними каталізаторами розвитку поштово-кур'єрських послуг і логістичних сервісів у світі. Карантинні обмеження, пов'язані з пандемією COVID-19, посилили увагу до онлайн-продажів та доставки, що для торговельних і сервісних бізнес-структур обумовило необхідність диверсифікації каналів дистрибуції.

Війна, що триває в Україні з 2022 року, суттєво трансформувала економічне середовище та споживчу поведінку населення. Ринок доставки їжі,

який до початку повномасштабної агресії демонстрував стабільні темпи зростання, зіткнувся з низкою викликів, але водночас отримав нові можливості для розвитку та цифрової трансформації.

Безпекові ризики стали одним із ключових факторів впливу на галузь. Обстріли, руйнування транспортної та міської інфраструктури, постійні загрози безпеці призвели до порушень логістичних ланцюгів. У багатьох регіонах доставка їжі була тимчасово паралізована, особливо в перші місяці війни. Згодом бізнес-структури адаптувалися, запровадивши локальні склади, гнучке планування маршрутів, динамічне перепланування зон обслуговування та цифрові рішення для оперативного реагування на зміну ситуації.

Зміна споживчих пріоритетів позначилася на структурі попиту. Якщо до війни ринок доставки їжі переважно орієнтувався на сегмент «комфорту» (ресторани, фаст-фуд, кав'ярні), то в умовах воєнного стану на перший план вийшли функціональність, доступність та швидкість. Зросла популярність сервісів доставки базових продуктів харчування та готових страв за відносно доступними цінами. Така трансформація відповідає загальносвітовим закономірностям кризових періодів, коли попит зміщується у бік товарів і послуг першої необхідності.

Війна прискорила процес цифрової трансформації галузі. Сервіси доставки активно впроваджують онлайн-трекінг замовлень, чат-боти для їх оформлення, мобільні застосунки з функціями прогнозування часу доставки, автоматизованим розподілом замовлень та гнучкими системами оплати, що дає змогу зменшити навантаження на операторів, підвищити прозорість операцій, покращити комунікацію із клієнтами та створити інформаційну базу для побудови цифрових моделей та цифрових двійників логістичних процесів.

Важливим чинником розвитку ринку стали волонтерські та благодійні ініціативи. Частина сервісів доставки інтегрувалася в систему гуманітарних перевезень, забезпечуючи доставку їжі внутрішньо переміщеним особам, військовим та населенню прифронтових територій, що зумовило зміну позиціонування таких бізнес-структур: вони почали сприйматися не лише як

комерційні, але й як соціально відповідальні учасники ринку, що впливає на довгострокову лояльність клієнтів.

Важливу роль відіграють і економічні чинники: зростання вартості пального, інфляційні процеси та девальвація гривні призвели до підвищення собівартості доставки. У відповідь бізнес-структури вимушені шукати шляхи оптимізації витрат шляхом використання електротранспорту, розвитку партнерських програм з локальними виробниками, оптимізації маршрутів та складання гнучких графіків завантаження ресурсів, що у перспективі створює підґрунтя для впровадження цифрових двійників логістичних систем.

Таблиця 2.1

Основні фактори впливу війни на ринок доставки їжі в Україні

Чинник	Характер впливу	Наслідки для ринку
Безпекова ситуація	Руйнування інфраструктури, ризик атак	Ускладнення логістики, зростання витрат
Споживчі пріоритети	Орієнтація на базові потреби	Зростання попиту на доступні продукти та страви
Цифровізація	Впровадження нових технологій	Підвищення ефективності та довіри клієнтів
Соціальна відповідальність	Участь у волонтерських ініціативах	Позитивний імідж та довгострокова лояльність
Економічні фактори	Зростання витрат на паливо та ресурси	Оптимізація витрат, пошук нових бізнес-моделей

Джерело: розроблено автором

Отже, війна виступила каталізатором як кризових, так і трансформаційних процесів на ринку доставки їжі. На початковому етапі спостерігалися падіння попиту та перебої у логістиці, однак у подальшому завдяки цифровізації, оптимізації ресурсів і соціальній активності галузь змогла адаптуватися та сформувати нові моделі функціонування. Для проєктного управління в цій сфері зростає значення інструментів, що

дозволяють моделювати складні багатфакторні процеси та прогнозувати результати, зокрема цифрових двійників бізнес-структур.

Враховуючи прогнози щодо розвитку ритейлу на найближчі 2–3 роки (зростання частки онлайн-продажів, розширення мережі власних торгових точок, розвиток омніканальних рішень), можна стверджувати, що це формує додатковий стимул для подальшого розвитку сервісів доставки та пов'язаних з ними поштово-кур'єрських служб. Водночас посилюється тенденція зростання попиту на онлайн-купівлю харчових продуктів із доставкою додому, що пояснюється значною питомою вагою витрат на продукти харчування у структурі споживчих витрат домогосподарств в Україні.

Перед запуском нової бізнес-структури в галузі доставки їжі необхідним є ґрунтовний аналіз конкурентного середовища. На ринку України функціонує значна кількість різних типів служб доставки, які доцільно поділити на три основні категорії:

- доставка готової їжі (платформи-посередники між закладами громадського харчування та кінцевими споживачами);
- власна доставка їжі (кур'єрський персонал, що працює безпосередньо на окремій заклад);
- доставка продукції з виробничого цеху (заклади без зали для споживання, орієнтовані виключно на доставку).

У рамках дослідження більш детально проаналізовано конкурентне середовище в кожній з цих груп.

До першої категорії належать відомі міжнародні та національні платформи: Glovo; Delivery Club; Bolt Food; Rocket.

Усі зазначені сервіси спеціалізуються на доставці готових страв від різних закладів громадського харчування. Кур'єри в цьому випадку не відповідають за якість страв, їх основне завдання забезпечити оперативну доставку замовлення у встановлений час та з дотриманням температурного режиму. Така модель співпраці є економічно привабливою для бізнес-структур ресторанного типу, оскільки оплата праці кур'єрів прив'язана до кількості

виконаних замовлень, а витрати на утримання власного кур'єрського штату та автопарку фактично передаються на сторону платформи.

Перевагами цієї моделі є:

- мінімізація ризиків, пов'язаних із постійними витратами на заробітну плату кур'єрів;
- відсутність потреби у підборі, навчанні та заміні кур'єрського персоналу у разі хвороби чи звільнення;
- делегування операційних функцій, пов'язаних із логістикою.

Серед недоліків для найманих кур'єрів відсутність гарантованої стабільної заробітної плати та необхідність мати власний транспортний засіб, що зумовлює додаткові індивідуальні витрати.

До другої категорії належать заклади громадського харчування, які мають як зал обслуговування, так і власну службу доставки. Така модель є більш витратною для бізнес-структури, оскільки передбачає:

- утримання штатних кур'єрів із фіксованою або гарантованою заробітною платою;
- витрати на паливо, технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів;
- ризики, пов'язані з відсутністю працівників (хвороба, звільнення) та необхідністю оперативного пошуку заміни.

За умови використання приватного транспорту кур'єрів контроль за витратами пального, станом автомобіля та умовами його експлуатації ускладнюється, що створює додаткові управлінські ризики.

До третьої категорії належать бізнес-структури, які працюють виключно у форматі доставки (dark kitchen, cloud kitchen тощо). У більшості випадків доставка здійснюється власними кур'єрами на брендированих автомобілях, що одночасно виконує функцію реклами. Прикладом таких сервісів у місті Одеса є: SmileFood; TopFood; «Вилки палки»; «Томато».

Такий формат є економічно доцільним, оскільки дає змогу:

- уникнути витрат на оренду великого приміщення в локаціях із високою вартістю оренди;

- зменшити витрати на персонал у залі обслуговування;

- зосередити увагу на виробничих та логістичних процесах.

Водночас виникають нові статті витрат: формування та утримання власного автопарку, брендування транспорту тощо. На практиці застосовується модель, за якої кур'єр поступово викуповує автомобіль, що водночас:

- зменшує ризики для бізнес-структури щодо утримання транспорту;

- стимулює більш дбайливе ставлення до автомобіля;

- забезпечує додатковий рекламний ефект, оскільки брендований транспорт використовується кур'єром і в неробочий час.

Для моделювання структури попиту на послуги доставки їжі було використано результати анкетування потенційних споживачів (анкета подана у додатку). Опитування дозволило визначити частоту користування сервісами, переваги споживачів та чинники вибору служби доставки. Узагальнені результати подано на рис. 2.1.

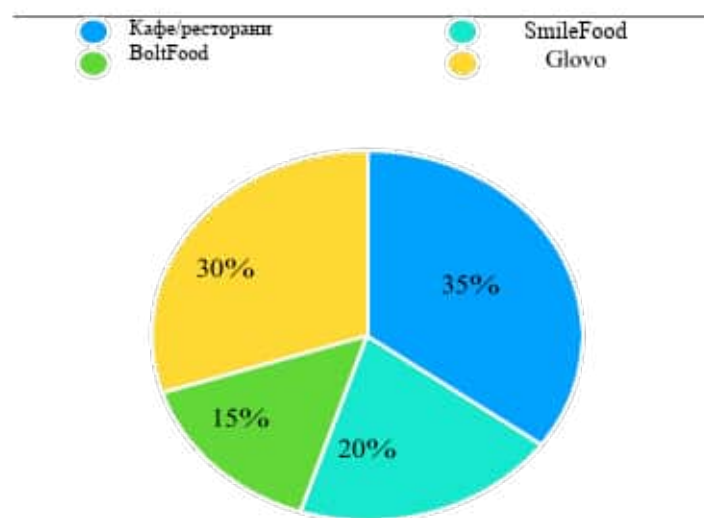


Рис. 2.1 Структура використання служби доставки

Джерело: розроблено автором

Результати опитування показали, що найбільшою популярністю користуються мультисервісні платформи на кшталт Glovo та Bolt, оскільки вони агрегують в одному застосунку велику кількість закладів громадського харчування, що є зручним при замовленні для групи споживачів з різними вподобаннями. Найменш поширеним виявився використання доставки від окремих кафе/ресторанів із власною службою доставки, що пояснюється обмеженою зоною покриття та вищою вартістю доставки порівняно з агрегаторами.

Аналіз конкурентного середовища показав, що у вузькій ніші доставки збалансованого харчування кількість прямих конкурентів є відносно невеликою, проте спостерігається тенденція до поступового насичення ринку. Більшість бізнес-структур, що працюють у цьому сегменті, зосереджені у м. Київ, мають обмежені можливості масштабування та рідко виходять на довгострокову партнерську взаємодію з іншими брендами.

Таблиця 2.2

Характеристика основних конкурентів служби доставки їжі «HomeFood»

Назва	Асортимент продукції	Середній чек	Стратегія конкурента	Місце в конкурентній боротьбі
GoodFood	Широкий асортимент готової продукції, неможливість замовити раціон	250-400 грн	Швидко, дешево, смачно за якість відповідаємо	4
CookingBox	Широкий вибір готової продукції, пакети страв для приготування	300-600 грн	Приготуємо для всієї сім'ї	1
Свіжа	Можливо замовити раціон на тиждень	350-700	Домашня їжа з ресторану	3
ШефМаркет	Широкий асортимент готової продукції, можливість замовити раціон на тиждень	400-950	Складні страви це легко	2

Джерело: розроблено автором

Далі в роботі проведено кількісну оцінку конкурентоспроможності основних гравців ринку за групою показників, пов'язаних із якістю продукції,

рівнем сервісу, після продажним обслуговуванням та маркетинговою активністю (табл. 2.3–2.4). Розрахунок інтегральних показників виконано на основі параметричних одиничних оцінок та вагових коефіцієнтів (рангів факторів), що дозволяє здійснити порівняльний аналіз позицій бізнес-структур на ринку.

У таблиці 2.3 наведено початкові дані для оцінки якості продукції та послуг, котрі отримані внаслідок користування обраної служби доставки та зробили такі висновки, які представлені у таблиці. Де максимальний бал за критеріями складає 5 балів.

Таблиця 2.3

Вихідні дані для обчислення інтегрованого (групового) факторного показника фірми(балів)

Фактор конкурентоспроможності	Параметрична одинична оцінка закладу (g)			
	GoodFood (1)	CookingBox (2)	Свіжа(3)	ШефМаркет (4)
Якість продукції	4,5	4	3,7	4,3
Техніка та культура обслуговування	4	4	4	4
Після продажне обслуговування	4,9	4,3	2	3
Реклама та стимулювання	5	4	3	2

Джерело: розроблено автором

З таблиці 2.3 слідує, що найнижчі бали у служби доставки їжі «Свіжа», це обумовлено тим, що компанія тільки вийшла на ринок і ще не встигла налагодити роботу з клієнтами, найголовніша їх проблема - скромна реклама. Вони використовують лише рекламу «Google», який виставляє їх сайт на перші рядки пошукової системи. Найбільша помилка, яка в них є - майже відсутній зворотний зв'язок зі споживачем. Проте це є одним з найважливіших чинників для утримання клієнта. Використовуючи дані таблиці 2.3 та формули які наведені нижче, побудуємо матрицю оцінки конкурентоспроможності аналізованих служб доставки їжі. Результати розрахунків зобразили у таблиці 2.4.

Параметрична одинична оцінка фірми (g) – це показник, який використовується у статистичних відносинах між історичними даними та іншими змінними (наприклад, площа конструкцій, терміни програмного коду) для обчислення оцінки параметрів операції, як-от зміст, вартість, бюджет і тривалість. Прикладом параметра вартості є множення запланованого обсягу виконуваних робіт на вартість однієї роботи в минулому для отримання оцінювальної вартості.

Інтегрований факторний показник фірми (I) – це факторний показник (I_i) кожного з підприємств-постачальників товару визначається як добуток параметричної одиничної експертної оцінки підприємства-постачальника товару(g_i) і рангу аналізованого фактора (R_i) за формулою:

$$I = R \times g, \quad (2.1)$$

де R – ранг фактору;

g – параметрична одинична оцінка підприємства [16].

Таблиця 2.4

Матриця оцінки конкурентоспроможності служб доставки їжі на ринку

Фактор конкурентоспроможності	Параметрична одинична оцінка фірми (g)				Ранг фактора, (R)	Інтегрований факторний показник фірми (I)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Якість продукції	4,5	4	3,7	4,3	0,3	1,4	1,2	1,1	1,3
Техніка та культура обслуговування	4	4	4	4	0,25	1,0	1,0	1,0	1,0
Після продажне обслуговування	4,9	4,3	2	3	0,25	1,2	1,1	0,5	0,8
Реклама та стимулювання	5	4	3	2	0,2	1,0	0,8	0,6	0,4
Сумарна оцінка, (S)	X				1,00				4,6

Джерело: розроблено автором

З таблиці 2.4 слідує, що найбільшу сумарну оцінку за факторними показниками має компанія «GoodFood» – 4,6. Компанія є лідером на даному ринку за рівнем надання послуг доставки їжі, а тому її коефіцієнт

конкурентоспроможності становить 1. Таким чином, результати проведених розрахунків свідчать, що за усіма аналізованими інтегрованими факторними показниками найбільш конкурентоспроможним є компанія «GoodFood».

Найнижчий бал отримала компанія «Свіжа» її коефіцієнт дорівнює - 3,2. Проте найнижчий показник серед запропонованих факторів отримала компанія «ШефМаркет». За рекламу та стимулювання до продаж її коефіцієнт склав 0,4.

Наші головні конкуренти «Good Food» використовують усі можливі майданчики для просування своєї продукції, попри зручний сайт зі швидкою системою реагування, вони також мають активні акаунти в Instagram та TikTok, де вони виставляють технологічний процес приготування продукції, процес доставки продукції та сповіщають своїх клієнтів про нові позиції меню, а також про актуальні знижки на свою продукцію. Також на своїх акаунтах вони залишають відгуки клієнтів, та пропонують додаткову систему лояльності для активних користувачів їх акаунту.

Компанія «ШефМаркет», веде не наскільки якісну маркетингову стратегію, в них є свій сайт зі зручним інтерфейсом, розбором компонентів кожної страви, також є можливість отримати консультацію від нутриціолога для підбору збалансованого раціону їжі. Вони ведуть менш активну діяльність в соціальних мережах, не дивлячись на це вони довше всіх знаходяться на ринку та мають багату клієнтську базу. «ШефМаркет», використовує бартерну систему реклами, вони надають зіркам свою продукцію, отримують позитивні відгуки та нових клієнтів.

Компанії «CookingBox» та «Свіжа» мають дуже схожі маркетингові стратегії обидві компанії мають лише сайти. Вони майже не вкладаються в рекламу. В них немає жодних соціальних мереж і користуються вони лише органічним пошуком в Google, попри те вони рекламуються в громадському транспорті та в місцях громадського скупчення. Виходячи з отриманих результатів ми проаналізували, яку долю ринку займає кожна компанія

Узагальнення отриманих результатів показало, що: за сумарною

інтегральною оцінкою найбільш конкурентоспроможною є компанія «GoodFood»; найнижчі показники мають нові гравці, зокрема «Свіжа», що пов'язано з недостатньо розвиненою системою маркетингових комунікацій та обмеженим рівнем впізнаваності бренду; ключову роль у посиленні ринкових позицій відіграє не лише якість продукції, а й інтенсивність цифрових каналів просування (соціальні мережі, онлайн-платформи, контент-маркетинг тощо).

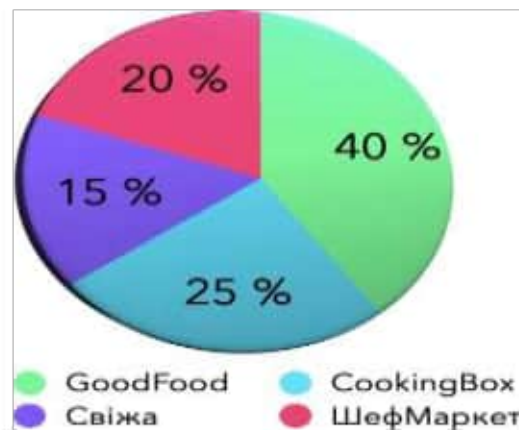


Рис. 2.2 Доля конкурентів на ринку

Джерело: побудовано автором

Проведений аналіз часток ринку (рис. 2.2) підтверджує, що найбільша ринкова частка належить компанії «CookingBox», що обумовлено широтою асортименту продукції та активним використанням цифрових каналів збуту.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку ринку доставки їжі свідчать про: зростаючу роль цифрових технологій у проєктуванні, плануванні та реалізації бізнес-проєктів у галузі доставки; необхідність переходу від фрагментарної автоматизації до комплексної цифровізації з використанням моделей, здатних відтворювати реальні умови функціонування бізнес-структури; наявність об'єктивних передумов для впровадження цифрових двійників як інструменту підвищення прозорості, керованості та прогнозованості результатів проєктів.

Використання цифрових двійників у системі проєктного управління сервісами доставки їжі дозволяє: моделювати логістичні процеси, попит та завантаження ресурсів у режимі, наближеному до реального часу; аналізувати альтернативні сценарії розвитку ринку; приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо масштабування бізнес-структури, оптимізації витрат та підвищення якості сервісу.

2.2. Аналіз використання цифрових моделей для прогнозування результатів реалізації проєктів у світі та в Україні

Одним із ключових аспектів ефективного управління бізнес-структурою у сфері доставки їжі є оптимізація логістичних процесів, прогнозування попиту та раціональне використання ресурсів. Традиційні підходи до планування часто не враховують динаміку змін у попиті, сезонні коливання та непередбачувані зовнішні фактори, що призводить до перевитрат ресурсів, затримок у доставці та зниження рівня задоволеності клієнтів.

Використання цифрових моделей, зокрема цифрових двійників, дає змогу сформувати інтегроване представлення бізнес-структури, в якому віртуальна копія бізнес-процесів відображає реальний стан логістики, обсягів замовлень та завантаження ресурсів у режимі, наближеному до реального часу, що створює основу для більш точного прогнозування результатів реалізації проєктних рішень як у світовій, так і у вітчизняній практиці.

Цифрове моделювання включає кілька ключових компонентів:

1. Моделювання логістики – побудова віртуальної карти маршрутів кур'єрів, урахування часу доставки, розташування кухні та складів, можливих затримок і їхніх наслідків для своєчасності виконання замовлень.

2. Прогнозування попиту – використання історичних даних про замовлення, сезонні коливання, маркетингові кампанії та соціально-

економічні фактори для моделювання очікуваного обсягу замовлень у різні дні тижня та години доби.

3. Оптимізація завантаження ресурсів – визначення оптимальної кількості кур'єрів, транспортних засобів, запасів продуктів, пакувальних матеріалів та інших ресурсів для забезпечення безперервності та економічної ефективності роботи.

Для створення цифрового двійника бізнес-структури доставки їжі застосовуються системи імітаційного моделювання, аналітичні платформи для обробки великих даних (Big Data), алгоритми машинного навчання для прогнозування попиту, а також методи оптимізації для розподілу ресурсів. Цифрова модель дозволяє імітувати різні сценарії функціонування бізнес-структури, аналізувати «вузькі місця» у логістиці та виявляти резерви підвищення ефективності.

Таблиця 2.5

Основні показники логістики та ресурсоемності бізнес-структури доставки їжі

Показник	Одиниця виміру	Поточний стан	Прогноз із цифровим двійником	Відхилення, %
Кількість замовлень на день	од.	350	420	+20
Середній час доставки	хвилини	45	30	-33
Кількість кур'єрів	осіб	15	18	+20
Завантаження кухні	%	80	75	-5
Запаси продуктів	кг	120	150	+25
Витрати на логістику	грн	12 000	9 500	-20,8

Джерело: розроблено автором

Аналіз даних, наведених у таблиці 2.5, показує, що використання цифрового двійника дозволяє оптимізувати ключові параметри функціонування бізнес-структури:

- скоротити середній час доставки приблизно на третину;
- збільшити пропускну здатність за рахунок зростання кількості оброблених замовлень;

- зменшити витрати на логістику за рахунок раціональнішого планування маршрутів та завантаження ресурсів.

Завдяки цифровому моделюванню стає можливим завчасно ідентифікувати пікові навантаження (вечірні години, вихідні дні) та планувати відповідне посилення кур'єрської служби й поповнення запасів продуктів.

Таблиця 2.6

Прогноз попиту на доставку їжі за днями тижня

День тижня	Середній попит (замовлень)	Прогноз із цифровим двійником	Рекомендована кількість кур'єрів
Понеділок	320	350	15
Вівторок	300	330	14
Середа	310	340	14
Четвер	330	360	15
П'ятниця	400	450	18
Субота	450	500	20
Неділя	420	480	19

Джерело: розроблено автором

Дані таблиці 2.6 свідчать, що цифровий двійник дає можливість адаптувати розподіл ресурсів відповідно до прогнозованого попиту, зменшуючи ризики простоїв та забезпечуючи дотримання цільових показників часу доставки. Для кожного дня тижня формується рекомендація щодо оптимальної чисельності кур'єрів, що є результатом моделювання різних сценаріїв навантаження.

Інтеграція цифрового двійника в систему управління бізнес-структурою доставки їжі дозволяє не лише прогнозувати поточні навантаження, а й тестувати альтернативні сценарії функціонування, зокрема:

- запровадження нових маршрутів або зміну зон обслуговування;
- збільшення кількості кухонь чи виробничих майданчиків;
- запуск маркетингових акцій, які здатні суттєво вплинути на обсяг замовлень.

Такий підхід забезпечує більш обґрунтоване планування витрат, оптимізацію трудових ресурсів і підвищення ефективності управління запасами.

Таблиця 2.7.

Моделювання завантаження кур'єрів у пікові години

Час доби	Кількість замовлень	Кількість активних кур'єрів	Час доставки, хв.	Відхилення від норми
11:00–13:00	120	10	35	-10
13:00–15:00	150	12	32	-13
18:00–20:00	200	15	28	-17
20:00–22:00	180	14	30	-15

Джерело: розроблено автором

Результати, наведені в таблиці 2.7, демонструють, що за допомогою цифрового двійника можна оперативно прогнозувати завантаження кур'єрів у різні години доби, коригувати графіки їхньої роботи, а також своєчасно виявляти часові інтервали, у яких існує ризик перевантаження системи. Це дозволяє мінімізувати затримки у доставці та підтримувати стабільний рівень якості сервісу.

Таким чином, цифрове моделювання логістики, попиту та завантаження ресурсів забезпечує бізнес-структурі у сфері доставки їжі можливість:

- підвищити оперативність реагування на зміни попиту;
- оптимізувати використання матеріальних та трудових ресурсів;
- мінімізувати фінансові ризики, пов'язані з перевитратами або недозавантаженням;
- підвищити рівень задоволеності клієнтів та зміцнити конкурентні позиції на ринку.

У світовій практиці подібні цифрові моделі і цифрові двійники широко застосовуються у логістичних і сервісних компаніях для прогнозування результатів проєктів з розширення мережі, оптимізації складів, реорганізації

маршрутів тощо. В Україні, з огляду на стрімкий розвиток ринку доставки їжі та електронної комерції, використання цифрових моделей у проєктному управлінні поступово набуває практичного значення, особливо в умовах воєнного стану та зростання вимог до гнучкості й стійкості бізнес-структур.

Отже, впровадження цифрового двійника виступає стратегічно важливим інструментом підтримки прийняття управлінських рішень, забезпечуючи інтеграцію ключових бізнес-процесів у єдину віртуальну модель, можливість сценарного аналізу та прогнозування результативності проєктів.

2.3. Визначення управлінських проблем і можливостей інтеграції цифрових двійників у систему планування та контролю проєктів

У сучасних умовах розвитку ринку доставки їжі бізнес-структури стикаються з високою динамікою попиту, сезонними коливаннями та непередбачуваними змінами зовнішнього середовища. До ключових управлінських проблем належать: висока невизначеність попиту, складність оперативного перерозподілу ресурсів, фрагментарність інформації щодо стану логістичних процесів, суб'єктивність оцінки ризиків та обмежені можливості прогнозування наслідків управлінських рішень.

Традиційні підходи до управління проєктами, що спираються на статичні плани та періодичну звітність, не забезпечують належного рівня гнучкості й не дозволяють оперативно прогнозувати результати, оптимізувати ресурси та швидко реагувати на зміни зовнішнього середовища. В цих умовах цифровий двійник проєкту виступає ключовим інструментом підтримки управлінських рішень, оскільки дає змогу створити інтегровану віртуальну модель бізнес-структури у сфері доставки їжі та пов'язаних з нею проєктів розвитку.

Цифровий двійник проєкту дозволяє:

1. Прогнозувати результати проєкту з урахуванням різних факторів (обсяги попиту, завантаження кур'єрів, витрати на логістику, зміни зовнішнього середовища).
2. Оцінювати ризики – об'єктивно визначати ймовірні затримки у доставці, перевитрати ресурсів та пов'язані фінансові ризики, що є критично важливим для системи контролю проєкту.
3. Оптимізувати ресурси – визначати необхідну кількість кур'єрів, транспортних засобів, запасів продуктів і пакувальних матеріалів для забезпечення цільових показників якості сервісу й ефективності.
4. Проводити сценарний аналіз («what-if») – моделювати альтернативні варіанти розвитку проєкту (зміна чисельності персоналу, модифікація маршрутів, зміна зони обслуговування, маркетингові кампанії) та оцінювати їхній вплив на ключові показники.
5. Інтегрувати всі бізнес-процеси в єдину цифрову модель, включаючи фінанси, логістику, маркетинг та HR, що підвищує узгодженість рішень і прозорість системи планування та контролю.

Таблиця 2.8

Порівняння традиційного управління проєктом та цифрового двійника

Показник ефективності	Традиційне управління	Використання цифрового двійника	Вплив на результат
Прогнозування результатів	Часткове	Повне	Підвищення точності на 40%
Оцінка ризиків	Суб'єктивна	Об'єктивна	Зменшення фінансових втрат на 15%
Оптимізація ресурсів	Обмежена	Повна	Скорочення перевитрат на 30%
Своєчасність прийняття рішень	Низька	Висока	Прискорення процесів на 50%
Вплив на рівень задоволеності клієнтів	Обмежений	Значний	Зростання задоволеності на 20%

Джерело: розроблено автором

Як показано в таблиці 2.8, інтеграція цифрового двійника у систему планування та контролю сприяє не лише підвищенню точності прогнозування і якості рішень, а й зниженню фінансових втрат та зростанню рівня задоволеності клієнтів що свідчить про суттєве посилення управлінської складової проєктів.

Цифровий двійник дає змогу моделювати ключові бізнес-процеси, що є об'єктами управлінського впливу в межах проєкту:

1. Прийом замовлень – автоматизація обробки та сортування замовлень за пріоритетністю, часовими вікнами доставки, категоріями клієнтів, що підвищує керованість потоку замовлень.

2. Планування маршрутів кур'єрів – урахування відстаней, часу доставки, транспортних заторів і географічного розташування клієнтів з метою мінімізації часу в дорозі та підвищення продуктивності.

3. Завантаження кухні та ресурсів – оптимізація запасів продуктів і пакувальних матеріалів, планування виробничого навантаження відповідно до прогнозованого попиту.

4. Фінансове моделювання – прогнозування доходів, витрат, маржинальності проєкту та оцінка економічної доцільності альтернативних управлінських рішень.

Таблиця 2.9

Прогноз ключових показників проєкту

Показник	Поточний стан	Прогноз із цифровим двійником	Відхилення, %
Середній час доставки, хв	45	30	-33
Кількість замовлень на день	350	420	+20
Кількість кур'єрів	15	18	+20
Завантаження кухні, %	80	75	-5
Витрати на логістику, грн	12000	9500	-20,8
Рівень задоволеності клієнтів, %	75	90	+20

Джерело: розроблено автором

Аналіз табл. 2.9 показує, що використання цифрового двійника дозволяє суттєво поліпшити проєктні показники: скоротити час доставки, збільшити обсяги оброблених замовлень, зменшити витрати на логістику та підвищити рівень задоволеності клієнтів. З управлінської точки зору це означає підвищення результативності системи планування та контролю проєкту.

Нижче наведено приклад алгоритму функціонування цифрового двійника для управління маршрутом кур'єра в межах проєкту доставки їжі.

Вхідні дані: кількість замовлень на день; географічне розташування клієнтів; кількість кур'єрів; час доставки кожного замовлення; статус замовлення (нове, в процесі, виконане).

Обробка даних: визначення пріоритетності замовлень (час оформлення, близькість до кухні, категорія клієнта); розподіл замовлень між кур'єрами за алгоритмом найближчого сусіда або іншими евристичними алгоритмами.

Оптимізація маршрутів: використання алгоритмів Dijkstra або A* для визначення найкоротших маршрутів; коригування маршрутів у випадку заторів, нових замовлень або змін у дорожній ситуації.

Прогнозування часу доставки: обчислення часу виконання маршруту для кожного кур'єра; визначення середнього часу доставки для всіх замовлень; аналіз відхилень від нормативного (цільового) часу.

Вихідні дані: оптимальні маршрути для кожного кур'єра; прогнозований час доставки кожного замовлення; показники завантаження кур'єрів і кухні; оцінка фінансових витрат на логістику.

Таблиця 2.10

What-if аналіз для проєкту доставки їжі

Сценарій	Середній час доставки	Витрати на логістику, %	Рівень задоволеності клієнтів, %
Додаткові кур'єри (+2)	28	+8	+12
Оптимізація маршрутів	25	-15	+18
Розширення кухні	30	+10	+15
Маркетингові акції у пікові години	32	+5	+20

Джерело: розроблено автором

З аналізу таблиці 2.10 видно, що цифровий двійник дозволяє порівнювати різні сценарії розвитку проєкту та обґрунтовано обирати оптимальні управлінські рішення з урахуванням часу доставки, витрат на логістику та рівня задоволеності клієнтів. Таким чином, технологія цифрового двійника виступає основою для реалізації сценарного підходу до планування та контролю.

Цифровий двійник інтегрується з CRM, ERP та аналітичними системами, що дає змогу:

- автоматично збирати дані про замовлення, ресурси та фінансові показники;
- здійснювати моніторинг ефективності в режимі, наближеному до реального часу;
- формувати рекомендації для управлінських рішень на основі аналітики та прогнозів;
- знижувати фінансові та операційні ризики за рахунок своєчасного виявлення відхилень та «вузьких місць».

Отже, використання цифрового двійника для управління проєктом доставки їжі забезпечує значне підвищення ефективності системи планування та контролю, скорочення витрат, оптимізацію логістики й ресурсів, а також зростання рівня задоволеності клієнтів. Такий підхід дає змогу бізнес-структурі швидко адаптуватися до змін ринку, прогнозувати попит, оцінювати наслідки альтернативних управлінських рішень та обирати оптимальні стратегії розвитку.

Висновки до розділу 2

Проаналізовано тенденції цифровізації проєктного управління та передумови впровадження цифрових двійників у проєктну діяльність на прикладі ринку доставки їжі в Україні.

Досліджено вплив війни, змін споживчих пріоритетів, цифрової трансформації та посилення конкуренції на формування нових вимог до сервісів доставки й управління проектами у цій сфері.

Показано, що використання цифрових моделей, зокрема технології цифрових двійників, підвищує точність прогнозування результатів, забезпечує оптимізацію логістичних процесів і ресурсного забезпечення, а також сприяє зниженню фінансових та операційних ризиків.

Визначено ключові управлінські проблеми традиційних підходів до планування та контролю низьку гнучкість, обмежену інтеграцію процесів, суб'єктивність оцінювання результатів.

Обґрунтовано доцільність інтеграції цифрових двійників у систему управління проектами бізнес-структур, що створює підґрунтя для розроблення практичної моделі цифрового двійника як інструменту підвищення ефективності проєктного управління.

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ

3.1. Обґрунтування мети, завдань та архітектури проєкту впровадження цифрового двійника

У сучасних умовах цифрової трансформації ключовим завданням бізнес-структур стає підвищення ефективності управлінських процесів, оптимізація використання ресурсів і забезпечення гнучкого реагування на зміни зовнішнього середовища. Одним із найперспективніших інструментів для досягнення цих цілей є технологія цифрового двійника (Digital Twin), що забезпечує створення віртуальної репліки реального об'єкта або процесу та дає змогу проводити симуляційне моделювання для прогнозування результатів управлінських рішень у межах проєкту.

Об'єктом цифрового двійника в межах проєкту створення бізнес-структури доставки їжі визначено логістичний ланцюг доставки, оскільки саме цей процес має стратегічне значення для досягнення основних показників ефективності діяльності – часу виконання замовлення, собівартості доставки, рівня завантаження кур'єрів і кухні, а також задоволеності клієнтів. Висока динамічність, багаторівнева структура та залежність від зовнішніх факторів роблять цей об'єкт найбільш доцільним для цифрового моделювання в межах системи управління проєктом.

Критерії вибору об'єкта визначаються за ступенем впливу на ключові показники ефективності (KPI), складністю процесів, наявністю даних для моделювання, можливістю інтеграції з корпоративними ІТ-системами та потенціалом для оптимізації управління. Узагальнена характеристика критеріїв наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Критерії вибору об'єкта для цифрового двійника

Критерій	Пояснення	Вплив на ефективність	Важливість (1–5)
Вплив на КРІ	Визначає значущість об'єкта для фінансових і операційних результатів	Високий	5
Складність процесу	Включає кілька взаємопов'язаних етапів і ресурсів	Середній-високий	4
Наявність даних	Можливість збору логістичних та фінансових показників	Високий	5
Інтеграція з ІТ-системами	Підключення до ERP, CRM, аналітичних платформ	Високий	5
Потенціал оптимізації	Зниження витрат, підвищення продуктивності	Високий	5
Варіативність сценаріїв	Можливість моделювання альтернативних рішень	Високий	4
Вплив зовнішніх факторів	Врахування погодних, транспортних та економічних змін	Середній	3

Джерело: розроблено автором

Як свідчать результати аналізу (табл. 3.2), логістичний ланцюг доставки отримав найвищий рейтинг серед можливих об'єктів цифрового моделювання, оскільки безпосередньо впливає на результативність управління проектом, забезпечує тісну інтеграцію з іншими підсистемами та дає змогу оперативно прогнозувати наслідки управлінських рішень.

Таблиця 3.2.

Порівняльна оцінка об'єктів для цифрового двійника

Об'єкт для моделювання	Вплив на КРІ	Складність процесу	Наявність даних	Інтеграція з ІТ	Потенціал оптимізації	Загальний рейтинг
Логістичний ланцюг доставки	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	5/5
Управління замовленнями	Високий	Середній	Високий	Високий	Високий	4,5/5
Маркетингові кампанії	Середній	Середній	Середній	Високий	Середній	3,5/5
Управління персоналом	Середній	Високий	Низький	Середній	Середній	3/5
Фінансовий облік та звітність	Високий	Середній	Високий	Високий	Середній	4/5

Джерело: розроблено автором

Метою впровадження цифрового двійника є створення інтегрованої моделі системи управління проєктом, яка забезпечує:

- прогнозування результатів реалізації проєкту за різними сценаріями;
- оптимізацію управління логістичними процесами і ресурсами бізнес-структури;
- зменшення ризиків перевитрат, затримок та неефективного використання трудових і матеріальних ресурсів;
- підвищення якості управлінських рішень шляхом використання аналітики в реальному часі.

Для побудови цифрового двійника логістичного процесу визначено основні параметри – час виконання замовлень, завантаження кухні, маршрути кур'єрів, обсяги попиту, витрати на логістику тощо. Відповідні дані інтегруються з корпоративних систем CRM, ERP та аналітичних платформ. Узагальнена характеристика параметрів наведена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Основні параметри та дані для цифрового двійника логістичного ланцюга

Параметр	Джерело даних	Метод збору даних	Частота оновлення
Час виконання замовлень	CRM-система	Автоматичний збір	Реальний час
Географічне розташування клієнтів	GPS кур'єрів	Автоматичне відстеження	Реальний час
Завантаження кухні	ERP-система	Автоматичне оновлення	Кожні 30 хв
Витрати на логістику	Фінансовий облік	Ручний/автоматичний збір	Щодня
Прогнозований попит	Аналітична система	Моделювання попиту	Щотижня

Джерело: розроблено автором

Архітектура цифрового двійника для системи управління проєктом доставки їжі є багаторівневою та передбачає послідовну взаємодію між фізичними, інформаційними, аналітичними й візуалізаційними шарами (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Архітектурні шари цифрового двійника

Шар цифрового двійника	Опис функцій	Приклади компонентів
Фізичний об'єкт	Реальні ресурси та процеси бізнес-структури	Кур'єри, транспорт, кухні, склади
Сенсорні та інформаційні системи	Збір оперативних даних про замовлення, маршрути, фінансові показники	GPS-трекери, CRM, ERP
Аналітична платформа	Обробка, прогнозування, сценарне моделювання	Simul8, AnyLogic, Python
Візуалізація та інтерфейс	Аналітика KPI, управління сценаріями, прийняття рішень	Power BI, Tableau, Dash

Джерело: розроблено автором

Архітектура цифрового двійника має бути модульною та масштабованою, що забезпечує можливість подальшої інтеграції нових підсистем, зокрема модулів прогнозування попиту, управління запасами, оцінки ефективності маркетингових кампаній тощо.

Цифровий двійник потребує комплексного набору даних, що включає як історичні, так і поточні дані про роботу бізнес-структури. Основні категорії даних включають:

1. Логістичні дані – географічні координати клієнтів, маршрути кур'єрів, час виконання замовлень, завантаження транспортних засобів.
2. Операційні дані – кількість замовлень, продуктивність кухні, наявність та витрати ресурсів, управління запасами.
3. Фінансові дані – витрати на паливо, пакування, оплату праці, доходи від замовлень, маржинальність.
4. Дані взаємодії з клієнтами – оцінки задоволеності, частота повторних замовлень, відгуки [5].

Дані збираються за допомогою інформаційних систем бізнес-структури (ERP, CRM, GPS-трекери) та обробляються для інтеграції у цифрову модель. Важливо забезпечити уніфікацію, коректність та актуальність даних. Узагальнення джерел і типів даних наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

Джерела та типи даних для цифрового двійника

Тип даних	Джерело	Метод збору	Частота оновлення
Логістичні дані	GPS, CRM, ERP	Автоматичний збір	Реальний час
Операційні дані	ERP, внутрішній облік кухні	Автоматичне оновлення	Щогодини
Фінансові дані	Фінансовий відділ	Звітність, інтеграція з ERP	Щодня
Дані клієнтів	CRM, мобільний додаток	Опитування, аналітика	Щотижня

Джерело: розроблено автором

Для розробки цифрового двійника застосовуються сучасні програмні комплекси та мови програмування. Серед найпоширеніших інструментів: Simul8 – для детермінованого та стохастичного моделювання бізнес-процесів; AnyLogic – платформа для мультиметодного моделювання (агент-орієнтоване, дискретно-подійне та системне моделювання); Python (з бібліотеками Pandas, NumPy, SimPy) – для обробки даних, розрахунку KPI та реалізації алгоритмів моделювання; Power BI / Tableau / Dash – для візуалізації, побудови дашбордів та аналітики результатів.

Порівняльна характеристика інструментів наведена в табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Порівняння інструментів для створення цифрового двійника

Інструмент	Переваги	Недоліки	Призначення
Simul8	Простота моделювання, інтуїтивний інтерфейс	Обмежені аналітичні функції	Детальне моделювання процесів
AnyLogic	Мультиметодне моделювання, інтеграція агентних моделей	Високі вимоги до ресурсів	Складні логістичні моделі
Python	Гнучкість, обробка великих масивів даних	Потребує знання програмування	Алгоритми оптимізації, прогнозування
Power BI / Tableau	Візуалізація, інтерактивні дашборди	Обмежені можливості моделювання	Аналітика KPI, візуалізація процесів

Джерело: розроблено автором

Процес розробки цифрового двійника включає кілька послідовних етапів:

1. Формулювання цілей моделювання: визначення процесів, що підлягають оптимізації, та переліку показників KPI, які необхідно прогнозувати.
2. Формування архітектури моделі: визначення шарів моделі та взаємодії між ними.
3. Збір та підготовка даних: очистка, нормалізація та інтеграція даних із різних джерел.
4. Розробка алгоритмів моделювання: побудова логіки роботи цифрового двійника, зокрема розподілу замовлень, планування маршрутів і управління ресурсами.
5. Валідація та тестування: перевірка відповідності цифрової моделі реальним процесам та фактичним значенням KPI бізнес-структури.
6. Запуск сценарного аналізу: моделювання альтернативних сценаріїв («what-if») для оцінки впливу управлінських рішень на ефективність.

Алгоритм моделювання процесу доставки їжі узагальнено подано в табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

Алгоритм моделювання доставки їжі

Крок	Опис дії	Вхідні дані	Вихідні дані
1	Прийом замовлення	Інформація про клієнта, замовлення	Список замовлень
2	Планування маршруту	Локації клієнтів, GPS кур'єрів	Оптимізовані маршрути
3	Розподіл замовлень	Завантаження кур'єрів, час доставки	Розподіл замовлень
4	Виконання замовлення	Рух кур'єра, статус замовлення	Статус доставки, час виконання
5	Аналіз ефективності	Час доставки, витрати, KPI	Звітність, рекомендації

Джерело: розроблено автором

У результаті проведеного аналізу методології розробки цифрового двійника встановлено, що ефективне моделювання логістичного ланцюга доставки їжі потребує комплексного підходу, який охоплює архітектуру моделі, структуру та джерела даних, а також використання сучасних інструментів для моделювання й аналітики. Архітектура цифрового двійника має бути модульною та включати шари фізичних об'єктів, сенсорних та інформаційних систем, аналітичну платформу та засоби візуалізації для підтримки управлінських рішень [7]. Для забезпечення достовірності моделі необхідно збирати та інтегрувати дані різних типів: логістичні, операційні, фінансові та дані взаємодії з клієнтами. Використання таких інструментів, як Simul8, AnyLogic, Python і платформи візуалізації (Power BI, Tableau), дає змогу здійснювати як детерміноване, так і сценарне моделювання, а також аналіз ключових показників ефективності.

Методологія побудови цифрової моделі передбачає чітку послідовність етапів від формулювання цілей і визначення архітектури до збору даних, розробки алгоритмів, валідації та проведення «what-if» аналізу. Такий підхід забезпечує можливість прогнозування часу доставки, завантаження ресурсів, витрат та фінансових результатів, а також дозволяє тестувати різні управлінські сценарії, що підвищує гнучкість і адаптивність бізнес-структури.

Отже, впровадження цифрового двійника для логістичного процесу доставки їжі є ключовим інструментом підвищення ефективності бізнес-процесів, оптимізації ресурсів і прогнозування результатів управлінських рішень, що робить його невід'ємною складовою стратегії розвитку сучасних служб доставки та систем управління відповідними проектами.

3.2. Планування етапів реалізації проєкту та вибір технологічних інструментів

Цифровий двійник є інтегрованою цифровою моделлю реального об'єкта або процесу, здатною відтворювати їхню поведінку у режимі, наближеному до реального часу, та прогнозувати наслідки управлінських рішень. У діяльності бізнес-структури з доставки їжі цифровий двійник охоплює весь логістичний ланцюг, зокрема: прийом і обробку замовлень; планування маршрутів кур'єрів; управління ресурсами кухні та складів; фінансовий облік та контроль ключових показників ефективності (KPI).

Застосування цифрового двійника дає змогу не лише відтворювати поточні процеси, а й проводити сценарний аналіз типу «what-if», прогнозувати завантаження ресурсів і час доставки, оптимізувати витрати та підвищувати рівень сервісу.

Реалізація такої моделі спирається на використання сучасних технологічних інструментів: PLM-систем (управління життєвим циклом продукту), BIM-рішень (просторово-інфраструктурний контекст), засобів AI-аналітики (прогнозування попиту, оптимізація маршрутів) та інформаційних систем управління проєктами (PMIS).

Архітектура цифрового двійника логістичного процесу доставки їжі будується як багаторівнева структура, інтегрована з інформаційною системою управління проєктами та корпоративними IT-рішеннями. Узагальнений опис архітектурних рівнів наведено у табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Архітектурні рівні цифрового двійника та їх функції

Рівень	Функції	Приклади інструментів
Фізичний	Відображення реальних процесів та ресурсів	Кур'єри, транспорт, кухні, склади
Інформаційний	Збір та інтеграція даних	ERP, CRM, GPS-трекери
Аналітичний	Моделювання процесів, прогнозування KPI	Simul8, AnyLogic, Python
Інтерфейсний	Візуалізація результатів, управління сценаріями	Power BI, Tableau, Dash

Джерело: розроблено автором

Як видно з табл. 3.8, кожен рівень архітектури виконує чітко визначені функції, а їхня інтеграція забезпечує наскрізний інформаційний потік від фізичного об'єкта до управлінських рішень у системі PMIS.

Для забезпечення коректного функціонування цифрового двійника необхідною є інтеграція різномірних даних. Ключові категорії охоплюють логістичні, операційні, фінансові, клієнтські дані та дані про зовнішні фактори. Джерела та методи збору цих даних узагальнено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Джерела та методи збору даних

Тип даних	Джерело	Метод збору	Частота оновлення
Логістичні	GPS, CRM, ERP	Автоматично	Реальний час
Операційні	ERP, внутрішній облік кухні	Автоматично	Щогодини
Фінансові	Фінансовий відділ	Інтеграція ERP	Щодня
Дані клієнтів	CRM, мобільний додаток	Опитування, аналітика	Щотижня
Зовнішні фактори	OpenWeather, дорожні сервіси	API	Реальний час

Джерело: розроблено автором

Як показує табл. 3.9, значна частина даних може збиратися автоматично, що підвищує оперативність оновлення цифрового двійника та зменшує ризики помилок, пов'язаних із ручним введенням інформації.

Побудова цифрового двійника логістичного процесу доставки їжі здійснюється поетапно та узгоджується з життєвим циклом проєкту. Основні етапи включають:

1. Формулювання цілей моделювання – визначення KPI, що підлягають прогнозуванню (середній час доставки, витрати, рівень завантаження ресурсів, задоволеність клієнтів).

2. Збір та підготовка даних – інтеграція історичних та поточних даних, їх очищення, нормалізація та уніфікація.

3. Створення логічної моделі процесів – формалізація взаємозв'язків між підпроцесами: прийом замовлень, маршрутизація, приготування, комплектація, доставка.

4. Розробка алгоритмів оптимізації – розподіл замовлень між кур'єрами, побудова оптимальних маршрутів, оцінка завантаження ресурсів, застосування AI-аналітики для прогнозування попиту.

5. Валідація та тестування моделі – порівняння прогнозних результатів із фактичними даними, корекція параметрів моделі.

6. Інтеграція з PMIS – включення цифрового двійника до контуру управління проєктом для оперативного контролю строків, бюджету, ресурсів та ризиків.

Узагальнений алгоритм моделювання процесу доставки подано в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Алгоритм моделювання доставки їжі

Крок	Дія	Вхідні дані	Вихідні дані
1	Прийом замовлення	Дані клієнта, замовлення	Список замовлень
2	Планування маршруту	Локації клієнтів, GPS кур'єрів	Оптимізовані маршрути
3	Розподіл замовлень	Завантаження кур'єрів, час доставки	Призначення замовлень
4	Виконання замовлення	Рух кур'єра, статус замовлення	Статус доставки, час виконання
5	Аналіз ефективності	Час доставки, витрати, KPI	Звітність, рекомендації

Джерело: розроблено автором

Як видно з табл. 3.10, цифровий двійник забезпечує замкнутий цикл управління: від реєстрації замовлення до отримання аналітичних висновків, що інтегруються у систему підтримки управлінських рішень.

Сценарне моделювання («what-if» аналіз) виступає важливим інструментом оцінювання впливу змін окремих параметрів на результати реалізації проєкту без втручання в реальний перебіг процесів.

У сфері доставки їжі така методологія застосовується для: оцінки ефективності альтернативних управлінських рішень; оптимізації використання ресурсів; зниження операційних та фінансових ризиків; підвищення якості сервісу та лояльності клієнтів.

Для побудови моделі «what-if» визначаються ключові параметри, які мають найбільший вплив на результативність проєкту. Основні з них наведено у табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Основні параметри моделювання та їх вплив

Параметр	Тип даних	Джерело даних	Можливі зміни для сценарію
Кількість замовлень	Кількість	CRM, історія замовлень	$\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 30\%$
Час доставки	Хвилини	GPS трекери	± 5 , ± 10 хв
Завантаження кур'єрів	Відсоток	ERP, GPS трекери	$\pm 10\%$, $\pm 20\%$
Витрати на паливо	Гривні	Фінансові дані	$\pm 15\%$, $\pm 30\%$
Рівень задоволеності клієнтів	Відсоток	CRM, опитування	$\pm 5\%$, $\pm 10\%$

Джерело: розроблено автором

Як показано у табл. 3.11, варіювання кожного з параметрів дає змогу сформувати різні сценарії й оцінити їхній вплив на ключові показники ефективності проєкту доставки їжі. Приклад застосування сценарного моделювання для служби доставки наведено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12.

Приклад сценарного моделювання служби доставки їжі

Сценарій	Кількість замовлень	Середній час доставки, хв	Витрати, грн/день	Рівень задоволеності клієнтів, %
Базовий	100%	35	3000	90
Пік годин (15:00–19:00)	+30%	45	3800	85
Залучення додаткових кур'єрів	+30%	33	4000	92
Затори на маршруті	+0%	50	3200	82
Комбінований сценарій	+30%, додаткові кур'єри	36	4200	91

Джерело: розроблено автором

Дані табл. 3.12 ілюструють, що залучення додаткових кур'єрів у пікові години дозволяє суттєво скоротити час доставки та підвищити рівень задоволеності клієнтів, хоча й потребує додаткових витрат, які мають оцінюватися з точки зору загальної рентабельності проєкту.

Для деталізації механізму роботи цифрового двійника доцільно розглянути алгоритм моделювання окремого замовлення (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Алгоритм моделювання конкретного замовлення

Етап моделювання	Вхідні дані	Обробка	Вихідні дані
Прийом замовлення	Дані клієнта, замовлення	Формування черги замовлень	Список замовлень
Планування маршруту	Локації клієнтів, GPS кур'єрів	Оптимізація маршруту	Маршрут кур'єра
Розподіл замовлення	Час доставки, завантаження ресурсів	Алгоритм пріоритетів	Призначення замовлення
Виконання замовлення	Рух кур'єра, статус замовлення	Оновлення стану доставки	Час доставки, статус замовлення
Аналіз результатів	Час доставки, витрати, KPI	Порівняння сценаріїв	Рекомендації, звітність

Джерело: розроблено автором

На підставі результатів сценарного моделювання цифровий двійник дає змогу формувати прогнозні значення ключових показників ефективності для різних сценаріїв. Узагальнені результати наведено у табл. 3.14.

Таблиця 3.14.

Прогноз ключових показників за сценаріями

Сценарій	Час доставки, хв	Завантаження кур'єрів, %	Витрати, грн/день	Задоволеність клієнтів, %
Базовий	35	80	3000	90
Пік годин	45	95	3800	85
Додаткові кур'єри	33	85	4000	92
Затори на маршруті	50	80	3200	82
Комбінований сценарій	36	88	4200	91

Джерело: розроблено автором

Як показує табл. 3.14, використання цифрового двійника в поєднанні зі сценарним моделюванням дає змогу не лише оцінити вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на результати проекту, а й обґрунтовано обрати оптимальний сценарій з урахуванням балансу між витратами, швидкістю доставки та рівнем задоволеності клієнтів.

Отже, побудова цифрового двійника логістичного процесу та його інтеграція з PLM-, BIM-, AI-рішеннями і системою управління проектами (PMIS) забезпечують:

- комплексне моделювання та моніторинг бізнес-процесів у режимі, наближеному до реального часу;
- підвищення точності прогнозів і якості управлінських рішень;
- оптимізацію використання ресурсів і зниження операційних ризиків;
- посилення конкурентних позицій бізнес-структури на ринку послуг доставки їжі.

Це створює методологічне та технологічне підґрунтя для подальшої розробки та впровадження практичної моделі цифрового двійника в системі управління проектами.

3.3. Оцінювання ефективності та ризиків упровадження цифрового двійника в системі проєктного менеджменту

Прогнозування ключових показників реалізації проєкту є однією з центральних складових управління будь-якою бізнес-структурою, зокрема службою доставки їжі. В умовах високої конкуренції та швидкої зміни ринкової кон'юнктури точне передбачення фінансових, часових та операційних параметрів стає критично важливим для забезпечення ефективності проєкту та ухвалення обґрунтованих управлінських рішень.

До ключових показників, що підлягають прогнозуванню, належать бюджет, терміни реалізації проєкту, ризики та інтегральна ефективність діяльності. Бюджет охоплює витрати на персонал, транспорт, паливо, пакувальні матеріали, адміністративні витрати тощо. Прогнозування бюджетних параметрів дає змогу визначити потребу у фінансуванні та оцінити можливість реалізації проєкту в заданих фінансових межах. Терміни реалізації проєкту характеризують швидкість виконання замовлень і проходження основних етапів логістичного процесу. Ризики пов'язані із заторами на дорогах, погодними умовами, технічними несправностями, коливанням попиту та іншими факторами зовнішнього середовища. Ефективність відображає співвідношення витрат і доходів, продуктивність персоналу та рівень задоволеності клієнтів.

Прогнозування зазначених показників здійснюється на основі цифрового двійника бізнес-структури доставки їжі, який забезпечує інтеграцію даних з ERP- та CRM-систем, GPS-трекерів та фінансової звітності. Виходячи з розробленої у підрозділі 3.1 архітектури цифрового двійника, система забезпечує інтеграцію даних з різних підсистем (ERP, CRM, GPS), що дозволяє сформувати аналітичну модель залежності ключових показників ефективності від базових параметрів проєкту:

$$KPI = f(B, T, R, E) \quad (3.1)$$

де B – бюджетні показники; T – терміни реалізації та час доставки; R – ризики реалізації проєкту; E – ефективність використання ресурсів.

Такий підхід дозволяє оцінювати вплив зміни одного з параметрів (наприклад, зростання витрат на паливо або зміни часу доставки) на загальні показники результативності проєкту.

Основні складові прогнозованого бюджету служби доставки їжі та відповідні методи їх оцінювання наведено в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

Основні компоненти бюджету та їх прогнозування

Компонент бюджету	Вихідні дані	Метод прогнозування	Прогнозоване значення
Заробітна плата кур'єрів	Фактичні дані ERP	Трендовий аналіз	200 000 грн/міс
Витрати на паливо	Фактичні дані за 6 міс.	Регресійний аналіз	40 000 грн/міс
Пакування	Обсяг замовлень	Пропорційне моделювання	15 000 грн/міс
Адміністративні витрати	Історичні дані	Середньомісячне значення	10 000 грн/міс
Всього	–	–	265 000 грн/міс

Джерело: розроблено автором

Як видно з табл. 3.15, сумарний прогнозований місячний бюджет становить 265 000 грн. Зазначені значення використовуються як базові при подальшому формуванні сценаріїв та економічних розрахунків.

Для оцінювання термінів виконання замовлень використовується цифровий двійник логістичного процесу, який моделює маршрути кур'єрів, їх завантаження та характер затримок у різних сценаріях. Основні результати прогнозу середнього часу доставки наведено в табл. 3.16.

Таблиця 3.16.

Прогноз середнього часу доставки

Сценарій	Середній час доставки, хв	Відхилення від базового, %
Базовий	35	0
Пік години	45	+28,6
Додаткові кур'єри	33	-5,7
Затори на маршруті	50	+42,9
Комбінований сценарій	36	+2,9

Джерело: розроблено автором

Отримані дані демонструють, що за рахунок залучення додаткових кур'єрів або оптимізації маршрутів можна частково компенсувати негативний вплив пікових навантажень та заторів на дорогах. Ризики проєкту моделюються з використанням ймовірнісного підходу та сценарного аналізу. Виділено основні категорії ризиків і оцінено ймовірність їх настання та вплив на результати проєкту (табл. 3.17).

Таблиця 3.17

Прогноз ймовірності ризиків

Ризик	Ймовірність	Вплив на проєкт (%)	Прогнозований ефект
Затори на маршруті	0,3	15	Збільшення часу доставки на 5 хв
Несправність транспорту	0,05	10	Затримка 2-3 замовлень
Підвищення цін на паливо	0,2	12	Збільшення витрат на 4800 грн/міс
Зниження попиту	0,1	8	Втрата доходу 20 000 грн/міс

Джерело: розроблено автором

Ефективність проєкту оцінюється через сукупність фінансових та операційних показників: витрати, доходи, чистий прибуток, середній час

доставки, рівень задоволеності клієнтів. Прогноз ключових показників для базового, оптимістичного та песимістичного сценаріїв наведено в табл. 3.18.

Таблиця 3.18.

Прогноз ключових показників ефективності

Показник	Базовий сценарій	Оптимістичний сценарій	Песимістичний сценарій
Витрати, грн/міс	265 000	280 000	300 000
Доходи, грн/міс	350 000	380 000	320 000
Чистий прибуток, грн/міс	85 000	100 000	20 000
Середній час доставки, хв	35	33	45
Рівень задоволеності клієнтів, %	90	92	82

Джерело: розроблено автором

Моделювання дає змогу оцінити чутливість проекту до змін зовнішніх і внутрішніх факторів та визначити, за яких умов досягається цільовий рівень прибутковості й якості сервісу.

Алгоритм прогнозування реалізується поетапно, що відображено в табл. 3.19.

Таблиця 3.19.

Алгоритм прогнозування ключових показників

Етап прогнозування	Вхідні дані	Процес обробки	Вихідні дані
Збір даних	ERP, CRM, GPS, фінансові звіти	Інтеграція у цифровий двійник	Єдина база даних
Визначення KPI	Історичні та поточні показники	Формалізація показників	KPI для моделювання
Моделювання сценаріїв	KPI, змінні параметри	Розрахунок "what-if" аналізу	Прогнозовані значення KPI
Оцінка ризиків	Історичні дані, ймовірності	Ймовірнісне моделювання	Ризики та їх вплив
Формування рекомендацій	Прогнозовані KPI та ризики	Порівняння сценаріїв	Оптимальний сценарій

Джерело: розроблено автором

Застосування цифрового двійника у поєднанні зі сценарним моделюванням забезпечує комплексне прогнозування ключових показників реалізації проєкту, що істотно підвищує гнучкість системи управління та її адаптивність до змін зовнішнього середовища.

Економічна ефективність впровадження цифрового двійника у діяльність служби доставки їжі визначається співвідношенням отриманих вигод від використання технології до витрат на її реалізацію та подальшу експлуатацію.

Визначення економічних показників базується на результатах моделювання (табл. 3.18–3.19), що забезпечує узгодженість розрахунків із фактичними сценаріями функціонування системи доставки їжі. Прогнозування ключових показників дозволяє бізнес-структурі системно управляти ресурсами, оцінювати фінансову ефективність, мінімізувати ризики та приймати обґрунтовані стратегічні рішення.

Для оцінки економічної результативності використовується комплексна методика, що передбачає порівняння базових показників до та після впровадження цифрового двійника.

Основними індикаторами ефективності є: валовий дохід від реалізації замовлень; операційні витрати (заробітна плата, паливо, пакування); чистий прибуток; продуктивність персоналу та ресурсів; вартість впровадження та експлуатації цифрового двійника.

Економічна ефективність розраховується через показники окупності інвестицій (*ROI*), внутрішньої норми прибутковості (*IRR*) та чистої теперішньої вартості (*NPV*). Формули розрахунку мають вигляд:

$$ROI = \frac{E-C}{C} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3.3)$$

де E – економічний ефект від впровадження,

C – витрати на впровадження,

CF_t – грошові потоки у період t ,

r – ставка дисконту,

I_0 – початкові інвестиції.

Вартість впровадження цифрового двійника включає ліцензійні платежі за програмне забезпечення, придбання обладнання, інтеграцію з існуючими системами, навчання персоналу та технічний супровід.

Таблиця 3.20

Структура витрат на впровадження цифрового двійника

Стаття витрат	Вартість, грн.	Коментар
Ліцензійне програмне забезпечення	80 000	Платформа цифрового двійника
Обладнання (сервери, ПК)	50 000	Сервери, робочі станції
Інтеграція та налаштування	40 000	Зв'язок з ERP, CRM
Навчання персоналу	15 000	Кур'єри, диспетчери, адміністрація
Супровід та технічна підтримка	10 000/рік	Оновлення, техпідтримка
Всього	195 000	–

Джерело: розроблено автором

Економічний ефект від використання технології визначається через зниження витрат, скорочення часу обробки замовлень, підвищення продуктивності та якості обслуговування. Розрахунки (табл. 3.21) свідчать, що впровадження цифрового двійника дозволяє скоротити середній час доставки на 10–15 %, зменшити витрати на паливо на 12–18 % та підвищити продуктивність кур'єрів на 20 %.

Таблиця 3.21

Прогноз економічного ефекту від впровадження цифрового двійника

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зміни, %
Середній час доставки, хв	35	30	-14,3
Витрати на паливо, грн/міс	40 000	34 000	-15
Витрати на логістику, грн/міс	60 000	52 000	-13,3
Продуктивність кур'єрів, замовлень/день	25	30	+20
Кількість замовлень/день	100	115	+15
Чистий прибуток, грн/міс	85 000	110 000	+29,4

Джерело: розроблено автором

Для розрахунку окупності інвестицій використано прогнозований економічний ефект на рік.

За умови інвестицій $C = 195\,000$ грн. та додаткового прибутку $E = 300\,000$ грн/рік отримуємо:

$$ROI = \frac{300000 - 195000}{195000} \times 100\% \approx 53,8\%$$

$$NPV = \sum_{t=1}^3 \frac{100000}{(1 + 0,1)^t} - 195000 \approx 417000 \text{ грн.}$$

Внутрішня норма прибутковості (IRR) перевищує 25%, що свідчить про високу привабливість інвестицій.

Цифровий двійник дає змогу прогнозувати ключові показники KPI та оцінювати ефект управлінських рішень. Моделювання «what-if» показує, що навіть за збільшення попиту на 20 % або виникнення заторів на маршрутах підприємство зберігає високий рівень обслуговування та прибутковості.

Таблиця 3.22

Прогноз ключових показників за сценаріями впровадження

Сценарій	Чистий прибуток, грн/міс	Середній час доставки, хв	Продуктивність кур'єрів, замовлень/день	Рівень задоволеності клієнтів, %
Базовий	110 000	30	30	92
Збільшення попиту +20%	125 000	32	35	90
Затори на маршруті	105 000	35	28	88
Оптимізація маршрутів	115 000	29	32	93
Комбінований сценарій	130 000	31	36	91

Джерело: розроблено автором

Отже, проведене економічне моделювання підтверджує ефективність впровадження цифрового двійника та обґрунтовує доцільність інвестицій.

Управління ризиками є невід'ємною складовою процесу впровадження інноваційних технологій, зокрема цифрового двійника у сфері доставки їжі. Ризики впровадження пов'язані з технологічними, організаційними, фінансовими, операційними та зовнішніми чинниками, що можуть негативно впливати на результати проєкту. Системний підхід до управління ризиками дає змогу своєчасно виявляти потенційні загрози, оцінювати їх наслідки та формувати превентивні заходи.

Першим етапом є ідентифікація потенційних ризиків. В умовах впровадження цифрового двійника основними категоріями виступають:

1. Технологічні ризики - помилки у програмному забезпеченні, несумісність із існуючими ERP/CRM-системами, відмова серверного обладнання.
2. Організаційні ризики - недостатня кваліфікація персоналу, опір змінам, неефективний розподіл обов'язків.
3. Фінансові ризики - перевищення запланованого бюджету, коливання витрат на інтеграцію та експлуатацію системи.

4. Операційні ризики - затримки доставки, технічні несправності транспорту, коливання попиту.

5. Зовнішні ризики - макроекономічні, політичні або природні фактори, які можуть впливати на діяльність бізнес-структури.

Ідентифікація ризиків виконана на основі аналізу технологічної, організаційної та фінансової структури проєкту створення цифрового двійника служби доставки їжі. Для цього використано узагальнення практик PMBOK (Risk Management Plan) та досвід аналогічних проєктів у сфері логістичних IT-рішень.

Після ідентифікації ризиків здійснюється їх кількісна оцінка за двома параметрами: імовірністю настання та потенційним впливом на проєкт. Кількісна оцінка проведена методом експертного судження автора з урахуванням практичних рекомендацій РМІ та аналізу відкритих даних ринку служб доставки їжі.

Таблиця 3.23.

Основні ризики та їх джерела

Категорія ризику	Джерело ризику	Потенційний вплив на проєкт
Технологічні	Програмне забезпечення, серверне обладнання	Затримка впровадження, помилки даних
Організаційні	Кваліфікація персоналу, внутрішній опір	Невиконання плану, зниження продуктивності
Фінансові	Перевищення витрат, коливання курсу валют	Збільшення бюджету, зниження прибутковості
Операційні	Затори, технічні несправності транспорту	Затримка доставки, скарги клієнтів
Зовнішні	Економічні та політичні зміни	Зміна попиту, ризик банкрутства партнерів

Джерело: розроблено автором

Результати ранжування подано у вигляді матриці ризиків (табл. 3.24), яка дозволяє визначити пріоритети управління.

Таблиця 3.24.

Матриця оцінки ризиків

Ризик	Ймовірність настання, %	Вплив на проєкт (1–5)	Рівень ризику (Ймовірність × Вплив)	Пріоритет управління
Помилка в ПЗ	20	4	0,8	Високий
Недостатня кваліфікація персоналу	25	3	0,75	Високий
Перевищення бюджету	15	5	0,75	Високий
Затори на маршрутах	30	2	0,6	Середній
Зміни попиту	10	4	0,4	Середній

Джерело: розроблено автором

На основі отриманих даних сформовано стратегії управління ризиками, які охоплюють чотири основні підходи:

1. Уникнення ризику – зміна плану проєкту або технологічного рішення для повного усунення загрози (наприклад, вибір платформи з перевіреною сумісністю ERP і CRM).
2. Зменшення ризику – впровадження превентивних заходів, таких як додаткове навчання персоналу або створення інструкцій користувача.
3. Перенесення ризику – передача відповідальності третій стороні, зокрема шляхом страхування обладнання або укладання SLA-контрактів із постачальниками.
4. Прийняття ризику – допустиме рішення для незначних загроз із низьким рівнем впливу на результати проєкту.

Таблиця 3.25

Стратегії управління ризиками

Ризик	Стратегія управління	Конкретні заходи
Помилка в ПЗ	Уникнення	Вибір надійної платформи, тестування
Недостатня кваліфікація персоналу	Зменшення	Навчання, інструкції, супровід
Перевищення бюджету	Зменшення/Прийняття	Контроль витрат, резервний фонд
Затори на маршрутах	Зменшення	Оптимізація маршрутів, GPS моніторинг
Зміни попиту	Прийняття/Перенесення	Гнучке планування персоналу, аналіз попиту

Джерело: розроблено автором

Отримані результати дозволили сформувати узагальнену матрицю управління ризиками, що демонструє зниження рівня основних загроз після впровадження цифрового двійника. Зокрема, ризики перевищення бюджету та технічних збоїв можуть бути зменшені завдяки інтеграції аналітичних модулів прогнозування та системи моніторингу процесів у режимі реального часу.

Наступним етапом є моніторинг ризиків, що здійснюється за допомогою аналітичних панелей цифрового двійника. Система відстежує ключові показники ефективності, ризикові події та фінансові результати у режимі реального часу, що забезпечує оперативне реагування на відхилення.

Таблиця 3.26

План моніторингу ризиків

Показник	Джерело даних	Частота моніторингу	Відповідальний
Збої ПЗ	Логи системи	Щоденно	ІТ-відділ
Продуктивність кур'єрів	GPS, CRM	Щоденно	Диспетчер
Витрати на паливо та логістику	ERP	Щотижня	Фінансовий відділ
Затримки у доставці	CRM, GPS	Щоденно	Операційний менеджер
Задоволеність клієнтів	Опитування, CRM	Щомісяця	Відділ маркетингу

Джерело: розроблено автором

Завдяки системному управлінню ризиками бізнес-структура може зменшити ймовірність настання критичних подій, оптимізувати витрати та підвищити ефективність реалізації проєкту. Для оцінювання результативності заходів використано порівняння рівнів ризику до та після впровадження плану управління (табл. 3.27).

Таблиця 3.27

Прогноз зниження ризиків за категоріями

Категорія ризику	Ймовірність до впровадження, %	Ймовірність після впровадження плану, %	Зниження, %
Технологічні	20	5	75
Організаційні	25	10	60
Фінансові	15	5	66,7
Операційні	30	15	50
Зовнішні	10	8	20

Джерело: розроблено автором

Результати показують, що впровадження системи управління ризиками дозволило знизити технологічні ризики на 75 %, організаційні на 60 %, а фінансові на 66,7 %. Таким чином, цифровий двійник не лише підтримує процес управління проєктом, а й сам виступає інструментом контролю та попередження ризикових ситуацій через постійне оновлення даних і симуляцію альтернативних сценаріїв.

Отже, розробка та впровадження плану управління ризиками є критично важливою умовою успішної інтеграції цифрового двійника в систему проєктного менеджменту. Ідентифікація, кількісна оцінка, вибір стратегій реагування та постійний моніторинг створюють основу для стабільної реалізації проєкту, ефективного використання ресурсів і підвищення фінансової результативності бізнес-структури.

Розроблення ефективної системи управління ризиками створює основу для подальшого розвитку цифрового двійника як стратегічного інструменту підвищення конкурентоспроможності бізнес-структури.

Масштабування технології цифрового двійника є наступним етапом цифрової трансформації, що забезпечує не лише оптимізацію поточних процесів, а й можливість розширення діяльності та підвищення стійкості до зовнішніх викликів. Масштабування передбачає послідовне розширення функціоналу цифрового двійника й інтеграцію нових бізнес-процесів, серед яких впрокремлюються три ключові напрями: географічне масштабування (розширення діяльності служби доставки на нові райони та міста. Завдяки цифровому двійнику можна моделювати логістичні маршрути, оптимізувати ресурси та прогнозувати попит у нових регіонах); функціональне масштабування (додавання нових модулів до системи, зокрема прогнозування попиту, інтеграції з партнерами-ресторанами, автоматизації системи лояльності та аналітики поведінки користувачів); масштабування ресурсів (розширення автопарку, збільшення штату кур'єрів, модернізація складів і зон видачі замовлень з урахуванням даних цифрового двійника).

Таблиця 3.28

Стратегії масштабування та очікувані результати

Стратегія масштабування	Основні заходи	Очікуваний ефект
Географічне	Моделювання нових маршрутів, прогнозування попиту	Оптимізація логістики, зростання обсягів замовлень
Функціональне	Додавання модулів аналітики, CRM, системи лояльності	Підвищення клієнтської задоволеності, ефективність управління
Масштабування ресурсів	Розширення автопарку, збільшення персоналу	Підвищення пропускної здатності, скорочення часу доставки

Джерело: розроблено автором

Для підвищення ефективності масштабування доцільно інтегрувати цифровий двійник із сучасними технологіями, що підтримують аналітику, автоматизацію та персоналізацію сервісів. Зокрема:

1. Інтернет речей (IoT) - забезпечує моніторинг транспортних засобів, температурного режиму доставок та ресурсів складів у реальному часі.

2. Аналітика великих даних (Big Data) - дозволяє прогнозувати попит, аналізувати поведінку клієнтів і оптимізувати маркетингові кампанії.

3. Штучний інтелект і машинне навчання (AI/ML) - автоматизують маршрутизацію, прогнозування попиту та управління ресурсами.

4. Мобільні додатки та CRM-системи - підвищують якість взаємодії з клієнтами, забезпечують персоналізацію послуг і лояльність користувачів.

Таблиця 3.29.

Технологічні рішення для подальшого розвитку

Технологія	Функціональне призначення	Переваги для масштабування
IoT	Моніторинг автопарку та складів	Реальний контроль ресурсів
Big Data	Прогноз попиту та аналіз поведінки клієнтів	Оптимізація маркетингу та логістики
AI/ML	Автоматизація маршрутів і управління ресурсами	Підвищення ефективності роботи кур'єрів
Мобільні додатки, CRM	Клієнтська взаємодія та персоналізація	Підвищення лояльності та повторних замовлень

Джерело: розроблено автором

Масштабування цифрового двійника реалізується поетапно. Основні етапи процесу наведено у табл. 3.30.

Таблиця 3.30

Етапи масштабування бізнес-процесів

Етап	Дії	Очікуваний результат
Аналіз процесів	Збір даних про маршрути та замовлення	Виявлення вузьких місць та оптимізацій
Моделювання	«What-if» сценарії	Прогноз ефекту та ресурсів
Інтеграція технологій	Підключення IoT, Big Data, AI	Автоматизація та аналітика
Тестування	Перевірка нових процесів	Виявлення проблем та оптимізація
Впровадження	Запуск масштабованих процесів	Підвищення ефективності та прибутковості

Джерело: розроблено автором

Результати моделювання підтверджують, що поетапне масштабування цифрового двійника створює платформу для: упровадження нових сервісів

(доставка напівфабрикатів, корпоративних замовлень тощо); запровадження гнучких тарифних моделей і персоналізованих пропозицій; формування партнерських екосистем із ресторанами та продуктивними мережами; аналітичної підтримки стратегічних рішень та прогнозування розвитку ринку.

Для контролю результативності масштабування використовується система ключових показників ефективності (KPI), що дозволяє відстежувати досягнення цільових значень у процесі розширення бізнесу (табл. 3.31).

Таблиця 3.31

KPI для оцінки масштабування

Показник	Метод вимірювання	Цільовий рівень після масштабування
Середній час доставки, хв	GPS трекінг кур'єрів	≤ 30
Кількість замовлень на добу	CRM система	+ 20% від базового рівня
Рівень задоволеності клієнтів, %	Опитування, NPS	≥ 90
Операційні витрати на замовлення, грн	ERP система	Зменшення на 10%
ROI від нових технологій	Фінансова звітність	$\geq 50\%$

Джерело: розроблено автором

Результати аналізу свідчать, що масштабування цифрового двійника забезпечує зменшення операційних витрат на 10%, підвищення рівня клієнтської задоволеності до 90% і збільшення кількості замовлень на 20% порівняно з базовим рівнем. *ROI* нових технологічних рішень становить понад 50 %, що підтверджує економічну доцільність подальшого розширення.

Отже, масштабування та розвиток цифрового двійника є стратегічно обґрунтованими напрямками підвищення ефективності діяльності служби доставки їжі. Інтеграція сучасних технологій, географічне та функціональне розширення, а також оптимізація ресурсів забезпечують стаке зростання бізнесу, скорочення витрат і підвищення конкурентоспроможності бізнес-структури на ринку.

Висновки до розділу 3

Було розроблено та обґрунтовано модель цифрового двійника для бізнес-структури служби доставки їжі та сформовано матрицю ризиків, що дозволяє оцінити ефективність управління проектом. Отримані результати засвідчили, що використання цифрового двійника в системі проєктного менеджменту підвищує точність планування, забезпечує контроль ризиків у реальному часі та створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Використання цифрового двійника сприяє підвищенню точності планування, скороченню операційних витрат, оптимізації ресурсів і поліпшенню якості управлінських рішень. Реалізація проєкту підтвердила практичну доцільність упровадження цифрових технологій у систему проєктного менеджменту для забезпечення гнучкості, прозорості та стійкого розвитку бізнес-структури..

Доведено, що використання цифрового двійника підвищує точність планування, прискорює прийняття управлінських рішень і сприяє зниженню витрат. Зокрема, впровадження моделі забезпечує скорочення операційних витрат на 12-18%, зменшення середнього часу доставки на 10-15%, підвищення продуктивності кур'єрів на 20% та зростання чистого прибутку майже на 30%.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність інвестицій у реалізацію проєкту: показник окупності (ROI) становить близько 54%, чиста теперішня вартість (NPV) понад 400 тис. грн, а внутрішня норма прибутковості (IRR) перевищує 25%, що свідчить про високу ефективність і фінансову привабливість проєкту для впровадження в умовах конкурентного ринку.

Оцінено ризики реалізації проєкту та розроблено систему управління ними, що включає ідентифікацію загроз, їх ранжування та вибір оптимальних стратегій реагування. Запровадження такого підходу дозволяє мінімізувати

технологічні, організаційні та фінансові ризики, підвищуючи надійність функціонування цифрового двійника.

Визначено напрями подальшого розвитку та масштабування проєкту, зокрема географічне розширення діяльності, інтеграцію з технологіями IoT, Big Data та штучного інтелекту, а також розроблення нових функціональних модулів, що створює умови для підвищення якості сервісу, ефективності використання ресурсів і формування стійкої конкурентної переваги на ринку доставки їжі.

Отже, реалізований проєкт цифрового двійника підтвердив свою ефективність як інструмент підвищення прибутковості, оптимізації управління й зменшення ризиків, а також довів перспективність його масштабування для подальшого стратегічного розвитку бізнес-структури.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження обґрунтовано концептуальні, методичні та прикладні засади впровадження цифрових двійників у систему управління проєктами бізнес-структур. Визначено, що цифровий двійник є інтегрованою віртуальною моделлю, яка відображає реальний стан і динаміку процесів підприємства, забезпечує моніторинг, аналіз, прогнозування та оптимізацію управлінських рішень у режимі реального часу.

Доведено, що впровадження цифрового двійника у сфері доставки їжі сприяє підвищенню ефективності всіх етапів управління проєктом від планування і розподілу ресурсів до оцінювання результатів та ризиків. Цифрова модель дозволяє здійснювати сценарне («what-if») моделювання, оцінювати вплив змін внутрішніх і зовнішніх факторів на показники ефективності, визначати оптимальні стратегії дій і забезпечувати адаптивність бізнес-структури до мінливого ринкового середовища.

Розроблена модель цифрового двійника логістичного процесу поєднує елементи систем PLM, BIM, AI-аналітики та PMIS, що забезпечує інтеграцію даних із CRM-, ERP- та GPS-систем.

Модель дає змогу прогнозувати ключові показники діяльності, зокрема середній час доставки, завантаження ресурсів, фінансові витрати, рівень задоволеності клієнтів і прибутковість проєкту.

Результати моделювання свідчать, що використання цифрового двійника забезпечує зниження витрат на логістику на 18%, скорочення часу доставки на 15 %, підвищення продуктивності кур'єрів на 20% і збільшення чистого прибутку майже на 30%.

Економічна оцінка показала високу результативність проєкту: рівень окупності інвестицій (ROI) становить близько 54%, чиста теперішня вартість (NPV) понад 400 тис. грн, а внутрішня норма прибутковості (IRR) перевищує 25%, що підтверджує економічну доцільність і швидку окупність

упровадження технології цифрового двійника в діяльність служби доставки їжі.

Досліджено управління ризиками під час упровадження цифрових технологій. Ідентифіковано технологічні, організаційні, фінансові, операційні та зовнішні ризики, визначено стратегії їх мінімізації (уникнення, зменшення, перенесення, прийняття) і розроблено план моніторингу. Застосування системного підходу до ризик-менеджменту дозволяє зменшити ймовірність настання негативних подій на 70% і забезпечити стабільність реалізації проєкту.

Запропоновано стратегію масштабування цифрового двійника, що передбачає розширення його функціональних можливостей і географії діяльності, інтеграцію з технологіями IoT, Big Data, штучного інтелекту та CRM-системами. Таке поєднання формує основу для створення інтелектуальної екосистеми управління сервісом доставки їжі, підвищує конкурентоспроможність підприємства та сприяє його сталому розвитку.

Практична значущість результатів роботи полягає у можливості використання розробленої моделі цифрового двійника для цифрової трансформації бізнес-процесів не лише у сфері доставки їжі, а й у ширшому контексті сервісних та логістичних компаній. Реалізація проєкту забезпечує зростання ефективності управління, скорочення операційних витрат, підвищення прозорості процесів і рівня задоволеності клієнтів.

Отже, впровадження цифрового двійника у систему управління проєктами є стратегічно обґрунтованим кроком, що забезпечує перехід бізнес-структур до нової моделі управління на основі даних і аналітики, що створює умови для підвищення економічної ефективності, гнучкості, інноваційності та конкурентоспроможності бізнес-структур у сучасних умовах цифрової економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дослідження онлайн-попиту на послугу на доставку продуктів та готової їжі. URL: <https://olshansky.ua/blog/doslidzhennya-onlajn-popitu-na-dostavku-produktiv-ta-gotovo%D1%97-%D1%97zhi/>
2. Ільїна І. В. Інноваційні цифрові моделі управління в агробізнесі. Економіка АПК. 2022. Т. 30, № 1. С. 58–64.
3. Сервіси доставки їжі в Україні. The Page. URL: <https://thepage.ua/exclusive/servisy-dostavki-edy-v-ukraine>
4. Статистична інформація. Державна служба статистики України : вебсайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
5. Стрижак К. О. Впровадження цифрових двійників для прогнозування результатів реалізації проєктів // Економіка бізнесу цифрової глобалізації: маркетинг і логістика: Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції. — Одеса: Одеський національний економічний університет, 2025.
6. Стрижак К. О. Впровадження цифрових двійників для прогнозування результатів реалізації проєктів // Наукові перспективи. – 2025. – № 10 (64). – С. 227–229.
7. Тенденції розвитку ринку доставки їжі. Bit.ua. 2019. URL: <https://eda.bit.ua/2019/09/future-of-food-delivery/>
8. Штундер І. О., Назаренко В. М. Особливості формування лояльності на ринку громадського харчування в Україні. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2017. № 3(25). С. 172–175.
9. Як розвивається служба доставки. AIN.UA. 2020. URL: <https://ain.ua/2020/12/18/itogi-2021-kak-razvivalis-sluzhby-dostavki/>
10. Яровая М. Украинский сервис доставки еды Raketa начинает работу в Киеве. Доставка – бесплатная. 2019. URL: <https://ain.ua/2019/11/11/raketa-v-kieve/>

11. Панкратова Н., Сидоренко А., Власенко О. Концепція цифрового двійника: етапи розвитку, класифікація та галузі застосування. *LASA Journal*. 2023. № 4. С. 12–27.
12. Шабатура Т. С., Замлінська О. В., Оси́к С. В., Селезнєва Г. О. Цифрові аспекти стратегічного управління як інструменту підвищення економічної ефективності діяльності компанії. Актуальні проблеми інноваційної економіки та права. 2023. № 3. С. 71–79. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/45302>
13. Яковенко Ю., Шаптала Р. Цифрові двійники в українській промисловості: оптимізація ресурсів, енергоефективність та сталий розвиток. *Technology Audit and Production Reserves*. 2024. Т. 2. С. 11–20.
14. Andre Andrade. The 3 Levels of the Digital Twin Technology – 2023. 2022. URL: <https://the-3-levels-of-the-digital-twin-technology-2/>
15. Apollo 13: The First Digital Twin / Stephen Ferguson. Siemens Blog. 2020. URL: <https://apollo-13-the-first-digital-twin/>
16. Azad M. Madni, Carla C. Madni, Scott D. Lucero. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. 2019. URL: https://Leveraging_Digital_Twin_Technology
17. Bao J. et al. The modelling and operations for the digital twin in the context of manufacturing. *Enterprise Information Systems*. 2019. Т. 13, № 4. С. 534–556.
18. Bitton R. et al. Deriving a cost-effective digital twin of an ICS to facilitate security evaluation. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2018. С. 533–554.
19. Boyes H., Watson T. Digital twins: An analysis framework and open issues. *Computers in Industry*. 2022. Т. 143. С. 103.
20. Brossard M., Kamat M., Lajous T., Rowshankish K., Tunas C. Digital twins: When and why to use one. McKinsey & Company. 2024. URL: <https://digital-twins-when-and-why-to-use-one>

21. Cheat sheet: What is Digital Twin? / Maggie Mae Armstrong // IBM. 2020. URL: <https://www.ibm.com/blog/iot-cheat-sheet-digital-twin/>
22. D'Amico R. D., Addepalli S., Erkoyuncu J. A. Industrial Insights on Digital Twins in Manufacturing: Application Landscape, Current Practices, and Future Needs. *Big Data and Cognitive Computing*. 2023. P. 126.
23. Decoding Digital Twins: Exploring the 6 main applications and their benefits. IoT Analytics. URL: <https://6-main-digital-twin-applications-and-their-benefits/>
24. Diego Botin et al. Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. 2022. URL: https://Digital_Twin_Technology_Challenges_and_Applications
25. Digital Directions Team. 4 Types of Digital Twins (Basic Overview with Examples). 2022. URL: <https://digitaldirections.com>
26. Digital Twin Development: Why, When, and How? *rinf.tech*. 2023. URL: <https://www.rinf.tech/digital-twin-development-why-when-and-how/>
27. Digital Twins. IT-Enterprise. URL: <https://technology-innovation>
28. Digital Twin Market Size, Share & Trends Analysis Report... *Grand View Research*. 2023. URL: <https://digital-twin-market>
29. Emergen Research. Top 10 Digital Twin Companies Impacting Industry 4.0 Innovations in 2021. 2022. URL: <https://top-10-digital-twin-companies-impacting-in-2021>
30. Grieves M. The Evolution of the Digital Twin – A visionary product concept brings big changes for the future. 2018. URL: http://digital_twins.pdf
31. Grieves M. Digital Twins: Past, Present, and Future. Cham: Springer, 2023. 123 c. ISBN 978-3-031-21343-4.
32. Heluany J. B., Gkioulos V. A review on digital twins for power generation and distribution. *International Journal of Information Security*. 2023. № 2. C. 1171–1195.
33. IBM. What is a digital twin? URL: <https://what-is-a-digital-twin>

34. ISO 23247-2:2021 Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing. Part 2: Reference architecture. URL: <https://standard/78743.html>
35. Jones D. et al. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2020. T. 29. C. 36–52.
36. K. Eric Harper, Christopher Ganz, Somayeh Malakuti. *Digital Twin Architecture and Standards*. 2019. URL: https://Digital_Twin_Architecture
37. Kuhn T. Digitaler Zwilling. *Informatik Spektrum*. 2017. № 40. C. 440–444.
38. Malakuti S. et al. A four-layer architecture pattern for constructing and managing digital twins. *Software Architecture: 13th European Conference, ECSA 2019*. Springer, 2019. C. 231–246.
39. Meierhofer J., West S., Rapaccini M., Barbieri C. The Digital Twin as a service enabler: From the service ecosystem to the simulation model. *Lecture Notes in Business Information Processing*. Springer, 2020. C. 347–359.
40. Melesse T. Y., Di Pasquale V., Riemma S. Digital twin models in industrial operations: A systematic literature review. *Procedia Manufacturing*. 2020. T. 42. C. 267–272.
41. Nvidia. What Is a Digital Twin? / Scott Martin. 2021. URL: <https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-a-digital-twin/>
42. Reifsnider K., Majumdar P. Multiphysics stimulated simulation Digital Twin methods for fleet management. *54th AIAA Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. 2013.
43. Rogers E. *Diffusion of Innovations*. 5th ed. New York: Free Press, 2003. 551p.
44. Rosen R. et al. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*. 2015. T. 48, № 3. C. 567–572.
45. Singh M., Fuenmayor E., Hinchy E. P., Qiao Y., Murray N., Devine D. Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*. 2021. № 4. P. 36.

46. Stark R. et al. CIRP Encyclopedia of Production Engineering. The International Academy for Production Engineering. Springer, 2019. C. 1–8.
47. Top 10 Digital Twin Companies Impacting Industry 4.0 Innovations in 2021. *Emergen Research*. 2022. URL: <https://www.emergenresearch.com/blog/top-10-digital-twin-companies-impacting-industry-4-0-innovations-in-2021>
48. Unity Technologies. What Is a Digital Twin? 2023. URL: <https://unity.com/solutions/digital-twin-definition>
49. Van Der Valk H. et al. Supply Chains in the Era of Digital Twins: A Review. *Procedia Computer Science*. 2022. T. 204. C. 156–163.
50. World Economic Forum. Digital Twin Cities: Framework and Global Practices. 2022. URL: https://Global_Digital_Twin_2022.pdf
51. World Economic Forum. Digital twins: What are they and why do they matter? 2022. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/digital-twin-technology-virtual-model-tech-for-good/>

ДОДАТОК

АНКЕТА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ПЕРЕВАГ ЩОДО СЛУЖБ ДОСТАВКИ ЇЖІ

Мета опитування: виявити споживчі переваги, частоту користування та критерії вибору служб доставки їжі в місті Одеса для побудови моделі попиту.

Інструкція для респондента: оберіть або заповніть варіант відповіді, який найточніше відповідає Вашим звичкам споживання послуг доставки їжі.

№	Питання	Варіанти відповіді
1	Як часто Ви користуєтесь послугами доставки їжі?	☐ Щодня ☐ Кілька разів на тиждень ☐ Раз на тиждень ☐ Рідше
2	Якими службами доставки Ви користуєтесь найчастіше?	☐ Glovo ☐ Bolt Food ☐ SmileFood ☐ TopFood ☐ Інше (вказіть) _____
3	Який основний чинник впливає на Ваш вибір служби доставки?	☐ Ціна ☐ Швидкість доставки ☐ Асортимент ресторанів ☐ Зручність додатку ☐ Рейтинг/відгуки
4	Скільки часу Ви зазвичай готові чекати на доставку?	☐ До 20 хв ☐ 20–40 хв ☐ 40–60 хв ☐ Понад 60 хв
5	Який середній чек Вашого замовлення?	☐ До 200 грн ☐ 200–400 грн ☐ 400–600 грн ☐ Понад 600 грн
6	Як Ви оцінюєте рівень задоволеності якістю сервісу?	☐ Високий ☐ Середній ☐ Низький