

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження моделей управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження
безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах
(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,
групи УПГІТм-24-1

Олександр НІСКОВ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва спеціальності)

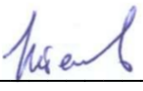
Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Управління проєктами в
галузі інформаційних технологій

Керівник доц. каф. ІУС Тетяна БІЛОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ІУС


(підпис)

Костянтин ПЕТРОВ
(власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
 Кафедра Інформаційних управляючих систем
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
 (код і повна назва)
 Тип програми освітньо-наукова
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)
 Освітня програма Управління проектами в галузі інформаційних технологій
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

(підпис)

« 06 » квітня 20 26 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Ніскову Олександр Миколайовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження моделей управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах

затверджена наказом університету від 23 березня 2026 р. № 231Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 21 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали за підсумками науково-дослідної практики; науково-технічні публікації та інтернет-джерела з тематики кваліфікаційної роботи; стандарти, методології та керівництва з управління ІТ-проєктами і життєвим циклом систем; галузеві звіти та практичні матеріали щодо впровадження open-loop / Account-Based Ticketing рішень у громадському транспорті; матеріали щодо PMBOK, PRINCE2, Agile, Stage-Gate, ISO/IEC/IEEE 15288 та INCOSE Systems Engineering Handbook; відкриті кейси впровадження транспортних платіжних систем; вимоги ДСТУ та методичні вказівки до оформлення кваліфікаційної роботи.

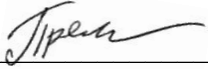
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Дослідження предметної області безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах; визначення особливостей транспортних платіжних ІТ-проєктів як об'єктів управління життєвим циклом; аналіз учасників, контурів взаємодії, проблем та обмежень впровадження; аналіз існуючих методологій управління ІТ-проєктами, системно-інженерних підходів і галузевих практик; виявлення прогалин та формування вимог до спеціалізованої методології; розробка RG-HLM, механізмів контекстної діагностики, конфігурування, gate-рішень, оцінювання готовності, переходу від пілота до масштабування і постзапускової стабілізації; демонстраційна апробація на узагальненому сценарії; оцінювання практичної придатності, обмежень і напрямів розвитку методології.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження сутності безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах	06.04.2026 – 10.04.2026	Виконано
2	Аналіз особливостей транспортних систем як середовища впровадження платіжних рішень	11.04.2026 – 13.04.2026	Виконано
3	Визначення учасників, систем, контурів взаємодії, проблем та обмежень впровадження транспортних платіжних ІТ-проектів	14.04.2026 – 17.04.2026	Виконано
4	Аналіз існуючих методологій управління ІТ-проектами, системно-інженерних підходів та галузевих практик впровадження	18.04.2026 – 22.04.2026	Виконано
5	Виявлення дослідницьких прогалин і формування вимог до спеціалізованої методології управління життєвим циклом	23.04.2026 – 25.04.2026	Виконано
6	Розробка концепції, принципів та семирівневої архітектури методології RG-HLM	26.04.2026 – 29.04.2026	Виконано
7	Розробка механізмів контекстної діагностики, вибору конфігурації та активації module sets у методології RG-HLM	30.04.2026 – 03.05.2026	Виконано
8	Розробка Lifecycle Core, системи gate-рішень, Vector Readiness Profile та Domain Floor Rule	04.05.2026 – 07.05.2026	Виконано
9	Розробка механізмів переходу від пілота до масштабування, постзапускової стабілізації та управлінських артефактів RG-HLM	08.05.2026 – 10.05.2026	Виконано
10	Демонстраційна апробація методології RG-HLM на узагальненому сценарії впровадження open-loop / ABT рішення	11.05.2026 – 13.05.2026	Виконано
11	Оцінювання практичної придатності методології, визначення обмежень, напрямів розвитку та оформлення пояснювальної записки	14.05.2026 – 17.05.2026	Виконано
12	Підготовка графічного матеріалу, презентації та наукової доповіді, проходження нормоконтролю і перевірка роботи на академічну доброчесність	18.05.2026 – 19.05.2026	Виконано
13	Захист кваліфікаційної роботи перед екзаменаційною комісією	21.05.2026	Виконано

Дата видачі завдання 06 квітня 2026 р.

Здобувач 

Керівник роботи 
(підпис)

доц. каф. ІУС Тетяна БІЛОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 147 с., 18 рис., 44 табл., 5 додатків, 64 джерела.

БЕЗКООНТАКТНА ПЛАТІЖНА ІНФРАСТРУКТУРА, ГОТОВНІСТЬ ПРОЄКТУ, ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, ІТ-ПРОЄКТ, МЕТОДОЛОГІЯ, УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ.

Об'єктом дослідження є процеси управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах.

Предметом дослідження є моделі та методи адаптації життєвого циклу такого ІТ-проєкту до контексту впровадження і механізми оцінювання готовності переходу між фазами.

Метою роботи є розроблення адаптивно-модульної методології RG-HLM для управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах.

Методи дослідження: системний аналіз, методологія Design Science Research, порівняльний аналіз методологій управління проєктами, метод аналітичних ієрархій, метод Дельфі, багатокритеріальний аналіз, сценарне моделювання.

У ході роботи досліджено предметну область, проаналізовано особливості транспортних платіжних ІТ-проєктів, виявлено обмеження існуючих методологічних підходів та сформовано вимоги до спеціалізованої методології. Розроблено методологію RG-HLM, що включає контекстну діагностику проєкту, вибір конфігурації, фазову модель життєвого циклу, систему gate-рішень, векторне оцінювання готовності, перехід від пілота до масштабування та постзапускову стабілізацію.

Наукова новизна роботи полягає у формалізації адаптивно-модульної методології управління життєвим циклом транспортного платіжного ІТ-проєкту, що поєднує контекстну адаптацію, evidence-based gate-рішення, векторне оцінювання готовності та некомпенсаторне правило мінімальних доменних рівнів. Практичне значення полягає у застосуванні RG-HLM для планування, конфігурування та оцінювання готовності таких ІТ-проєктів.

ABSTRACT

Master's thesis: 147 pages, 18 figures, 44 tables, 5 appendices, 64 references.

CONTACTLESS PAYMENT INFRASTRUCTURE, IT PROJECT, LIFECYCLE, METHODOLOGY, PROJECT MANAGEMENT, PROJECT READINESS, PUBLIC TRANSPORT.

The object of the research is the life cycle management processes of an IT project for implementing contactless payment infrastructure in transport systems.

The subject of the research is the models and methods for adapting the life cycle of such an IT project to the implementation context and mechanisms for assessing readiness for phase transitions.

The aim of the work is to develop an adaptive modular RG-HLM methodology for managing the life cycle of an IT project for implementing contactless payment infrastructure in transport systems.

Research methods: systems analysis, Design Science Research methodology, comparative analysis of project management methodologies, Analytic Hierarchy Process, Delphi method, multi-criteria analysis, and scenario modelling.

The work studies the subject area, analyzes the specific features of transport payment IT projects, identifies the limitations of existing methodological approaches, and formulates requirements for a specialized methodology. The RG-HLM methodology has been developed; it includes project context diagnostics, configuration selection, a life cycle phase model, a gate decision system, vector readiness assessment, transition from pilot to scale, and post-go-live stabilization.

The scientific novelty of the work lies in the formalization of an adaptive modular methodology for managing the life cycle of a transport payment IT project, combining context adaptation, evidence-based gate decisions, vector readiness assessment, and a non-compensatory rule of minimum domain levels. The practical significance lies in the application of RG-HLM for planning, configuration, and readiness assessment of such IT projects.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	8
Вступ.....	9
1 Дослідження предметної області та постановка задачі.....	11
1.1 Сутність безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах	11
1.2 Особливості транспортних систем як середовища впровадження платіжних рішень.....	14
1.3 Безконтактна платіжна інфраструктура як об'єкт управління життєвим циклом ІТ-проєкту	16
1.4 Основні учасники, системи та контури взаємодії	19
1.5 Ключові проблеми, обмеження та виклики впровадження й управління.....	23
1.6 Постановка проблеми та задачі дослідження та межі існуючих підходів	26
2 Аналіз існуючих методологій управління життєвим циклом ІТ-проєктів...	29
2.1 Загальні методології управління ІТ-проєктами	29
2.2 Системно-інженерні та lifecycle-орієнтовані підходи.....	33
2.3 Галузеві практики впровадження транспортних платіжних систем .	36
2.4 Порівняльний аналіз і виявлення прогалин	41
2.5 Формування вимог до спеціалізованої методології	46
3 Розробка методології RG-HLM для управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури.....	51
3.1 Концептуальні засади та позиціонування методології RG-HLM.....	51
3.2 Архітектура та конфігураційна логіка RG-HLM	55

3.3 Transport Context Score та Configuration Engine	62
3.4 Lifecycle Core та gate-логіка методології.....	67
3.5 Vector Readiness Profile і Domain Floor Rule	73
3.6 Pilot-to-Scale Readiness Framework	79
3.7 Post-Go-Live Operations, Fare Justice Loop та ризикові module sets ...	83
3.8 Узагальнення результатів розробки методології RG-HLM	88
4 Демонстраційна апробація та оцінювання запропонованої методології	91
4.1 Сценарій демонстраційної апробації та вихідна ситуація	91
4.2 Конфігурування RG-HLM для сценарного проєкту	95
4.3 Застосування Lifecycle Core та оцінювання Gate 4	100
4.4 Управлінські артефакти та простежуваність результатів апробації	105
4.5 Оцінювання придатності, обмеження та напрями подальшого розвитку RG-HLM.....	108
Висновки	115
Перелік джерел посилання	118
Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи	127
Додаток Б Артефакти контекстної діагностики та конфігурування RG-HLM	136
Додаток В Артефакти оцінювання готовності, gate-рішень і масштабування	140
Додаток Г Артефакти постзапускової стабілізації та операційного супроводу	143
Додаток Д Артефакти спеціалізованих module sets і федеративного управління	145

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЖЦ – життєвий цикл

ІС – інформаційна система

ІТ – інформаційні технології

ABT – Account-Based Ticketing, обліково-орієнтована модель квиткування

АНР – Analytic Hierarchy Process, метод аналітичних ієрархій

DSR – Design Science Research, методологія проєктно-орієнтованого дослідження

EMV – Europay, Mastercard and Visa, стандарт карткових платежів

ISO/IEC/IEEE 15288 – стандарт процесів життєвого циклу систем

KPI – Key Performance Indicator, ключовий показник ефективності

NFC – Near Field Communication, технологія безконтактного зв'язку

PCI DSS – Payment Card Industry Data Security Standard, стандарт безпеки даних платіжних карток

PEP – Pilot Evidence Package, пакет доказів пілота

PMBOK – Project Management Body of Knowledge, звід знань з управління проєктами

PRINCE2 – Projects IN Controlled Environments, методологія управління проєктами

RG-HLM – Readiness-Gated Hybrid Lifecycle Methodology, адаптивно-модульна методологія управління життєвим циклом

RSI – Readiness Synthesis Index, інтегральний індекс готовності

TCS – Transport Context Score, оцінка контексту транспортного платіжного проєкту

UITP – Union Internationale des Transports Publics, Міжнародна асоціація громадського транспорту

VRP – Vector Readiness Profile, векторний профіль готовності

ВСТУП

Сучасні системи громадського транспорту у великих містах світу перебувають на етапі активної трансформації: традиційні закриті системи збору плати, такі як пропрієтарні безконтактні картки та паперові квитки, поступово замінюються відкритими платіжними рішеннями на основі банківських карток і мобільних гаманців пасажирів (open-loop / EMV / Account-Based Ticketing) [1, 2]. Ця трансформація охоплює не лише технічну модернізацію, а й зміну операційних процесів транспортних операторів, перерозподіл функцій між публічним і приватним секторами та формування нових вимог до соціальної інклюзії та доступності транспортних послуг для всіх категорій користувачів [3, 4].

Практика впровадження відкритих платіжних систем демонструє, що такі проекти нерідко супроводжуються відхиленнями від запланованих строків і бюджетів, затримками у досягненні повного функціонування та потенційними втратами доходів через дефекти інтеграції або помилки тарифікації. Відповідні кейси – Modernising myki (Мельбурн), MBTA Automated Fare Collection 2.0 (Бостон) та OVpay (Нідерланди) – підкреслюють критичну роль управлінських рішень у забезпеченні ефективного впровадження систем [5–8]. Водночас технологічні стандарти EMV, PCI DSS, NIST CSF та ISO/IEC/IEEE 15288 є достатньо зрілими для практичного застосування і зазвичай не обмежують процес трансформації.

Існуючі методології управління IT-проєктами, зокрема PMBOK, PRINCE2 та Agile-фреймворки, формують загальні принципи організаційного управління, проте залишаються галузево-нейтральними. Вони не забезпечують формалізацію критеріїв готовності для транспортних систем, не регламентують контроль переходу від пілота до масштабування і не виокремлюють постзапускову стабілізацію як самостійний етап життєвого циклу [9]. Системно-

інженерні та lifecycle-орієнтовані підходи пропонують інструменти фазових переходів і оцінювання готовності, але не охоплюють соціально-тарифні, платіжні та мультистейкхолдерські аспекти [10, 11]. Таким чином, у науково-практичній літературі простежується прогалина: відсутній відтворюваний методологічний підхід, який поєднав би управлінський каркас РМ-методологій, формальну lifecycle-логіку системної інженерії та емпіричні патерни галузевих практик у єдину адаптовану методологію управління життєвим циклом транспортних платіжних впроваджень.

У контексті цифрової трансформації транспортних систем розробка такої методології набуває особливої актуальності, оскільки забезпечує планованість, контрольованість і керованість проєктів. Використання стандартизованих управлінських підходів підвищує узгодженість дій транспортних операторів, банківських та технологічних партнерів, регуляторів і інтеграторів, зменшує ризики невідповідності нормативним вимогам і втрат доходів, а також сприяє забезпеченню соціально-тарифної справедливості і кіберстійкості [12, 13].

Дослідження виконано на кафедрі інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки у межах освітньо-наукової програми «Управління проєктами в галузі інформаційних технологій» (спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»). Об'єктом дослідження є процеси управління життєвим циклом ІТ-проєктів впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Предметом дослідження є моделі, етапи, критерії переходу, артефакти та механізми контролю управління життєвим циклом таких проєктів.

Результати кваліфікаційної роботи апробовано на наукових конференціях та опубліковано у фахових виданнях [17–19].

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Безконтактна платіжна інфраструктура в транспортних системах є багатокомпонентним об'єктом, що поєднує технічні, програмні, організаційні, фінансові, тарифні, регуляторні та експлуатаційні компоненти. Її впровадження потребує координації платіжного контуру, інтеграції з існуючими системами, налаштування тарифних правил, забезпечення безперервності обслуговування пасажирів та узгодження дій численних зацікавлених сторін.

Складність таких проєктів визначається їхнім функціонуванням на перетині транспортного оператора, платіжних і банківських систем, муніципального управління, регуляторного поля та сервісного обслуговування пасажирів. Тому подальший аналіз зосереджено на сутності такої інфраструктури, особливостях транспортного середовища, учасниках взаємодії, ключових проблемах впровадження та постановці дослідницької задачі.

1.1 Сутність безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах

У спрощеному розумінні безконтактна оплата в транспорті часто зводиться до дії пасажирів, який прикладає картку або мобільний пристрій до валідатора чи термінала. Проте таке трактування є недостатнім для академічного аналізу, оскільки фіксує лише видиму точку взаємодії пасажирів із системою й не охоплює інфраструктуру, яка забезпечує приймання, інтерпретацію, обробку та подальше використання цієї дії в межах транспортної послуги [1]. У транспортному контексті безконтактний платіжний інструмент є носієм або засобом ініціювання події, тоді як реальна функціональність системи формується

на рівні правил доступу до поїздки, обліку подорожі, тарифікації, контролю, звірки та супроводу.

У межах роботи безконтактну платіжну інфраструктуру в транспортних системах доцільно розуміти як сукупність технічних, програмних, інформаційних і організаційних компонентів, що забезпечують взаємодію пасажирів з транспортною послугою через безконтактний платіжний носій або пристрій, фіксацію відповідної події, застосування правил тарифікації, зв'язок із платіжним середовищем, контроль правомірності користування мережею, а також подальший моніторинг, звітність і супровід [1–3]. До складу такої інфраструктури входять засоби взаємодії з пасажиром, точки приймання або валідації, бек-офісні модулі керування поїздками й тарифами, інтеграційний шар, механізми контролю, аналітики та сервісної підтримки. Відповідно, йдеться не про автономний фінансовий модуль, а про частину ширшого механізму надання транспортної послуги.

Ключовою рисою цієї інфраструктури є зв'язок між платіжною подією та транспортною подією. У звичайному роздрібному сценарії транзакція, як правило, завершує обмін між продавцем і покупцем. У транспорті безконтактна взаємодія часто є елементом сценарію доступу до мережі, початку або завершення поїздки, підтвердження права на користування сервісом, обчислення тарифу, перевірки пересадкових умов або застосування логіки найвигіднішого тарифу (best fare logic) [1, 3]. Тому транспортна система працює не лише з фактом списання коштів, а й з контекстом поїздки: місцем, часом, зоною, тарифним профілем пасажирів та правилами, за якими зафіксована подія має бути оброблена.

У сучасних транспортних системах дедалі більшу роль відіграє бек-офісна логіка. Account-Based Ticketing передбачає, що підтвердження права на поїздку, записи про подорож, бізнес-правила та розрахунок тарифу зберігаються й обробляються переважно на серверному рівні, а не на фізичному носії пасажирів [1]. У такій архітектурі картка, смартфон, токен або інший ідентифікатор

виконують роль засобу доступу до системи, тоді як основне значення мають правила обробки даних, тарифні механізми, профілі користувачів, звітність, аудит і підтримка.

Принципова різниця між платіжним інструментом і платіжною інфраструктурою полягає у рівні виконуваних функцій. Платіжний інструмент надає користувачеві можливість ініціювати взаємодію із системою. Інфраструктура забезпечує перетворення цієї взаємодії на керовану транспортну подію з визначеними правилами, наслідками та записами в інформаційних системах. Вона визначає, як інтерпретувати дотик, чи вважати його підтвердженням доступу, як розрахувати тариф, як обробити виняток, як провести звірку та як відреагувати на інцидент.

Сучасні підходи open-loop, АВТ і гібридні моделі змінюють характер транспортної платіжної системи [1, 3]. Якщо в традиційних card-centric схемах значна частина логіки була пов'язана з окремим транспортним носієм, то в account-based та споріднених підходах фокус зміщується до серверного рівня, де зосереджуються правила тарифікації, облік подорожей і взаємодія з платіжним контуром. У такій моделі архітектурна зміна полягає не лише в оновленні способу оплати, а в переході від керування носієм до керування даними, правилами й подіями.

Безконтактна платіжна інфраструктура в транспорті є частиною ширшої соціотехнічної інфраструктури транспортної послуги [4]. Її ефективність визначається не лише коректністю технології приймання платежу, а й тим, як вона вбудована в операційну модель перевізника, правила контролю, поведінку пасажирів, сценарії підтримки та механізми управління даними. Тому аналіз такої інфраструктури має охоплювати взаємодію між пасажирським інтерфейсом і бек-офісом, між транспортною і платіжною подією, між тарифним правилом і користувацьким сценарієм, а також між технічним рішенням і сервісною практикою його використання.

Отже, безконтактна платіжна інфраструктура в транспортних системах є

не окремим способом оплати, а багатокомпонентною системою взаємодії, обробки, обліку, контролю та супроводу транспортної події. Її ключова особливість полягає в поєднанні платіжної, транспортної, тарифної та сервісної логіки в єдиному середовищі.

1.2 Особливості транспортних систем як середовища впровадження платіжних рішень

Платіжне рішення в громадському транспорті не може розглядатися як аналог звичайного роздрібного еквайрингу: тут платіжна дія є лише одним із елементів ширшої сервісної події – поїздки, доступу до мережі, перевірки права на проїзд і застосування тарифних правил [1, 3]. Якщо в роздрібному сценарії транзакція переважно завершує взаємодію між клієнтом і торговою точкою, то в транспорті вона часто лише запускає подальшу логіку обліку, валідації або розрахунку вартості поїздки. Галузеві матеріали UITP і Світового банку показують, що транспортні схеми включають check-in/check-out, fare capping, пересадкові правила, мультимодальні сценарії та інтеграцію між суміжними системами. Отже, платіжна подія нерозривно пов'язана з контекстом маршруту, часу, зони або типу поїздки.

Однією з базових особливостей транспортного середовища є висока інтенсивність потоку та жорсткі часові обмеження. У громадському транспорті платіжне рішення оцінюється не лише за точністю або безпекою, а й за тим, наскільки воно зберігає пропускну здатність системи й не уповільнює посадку в пікові періоди [2]. Навіть незначне збільшення часу взаємодії зі системою, помножене на масовий пасажиропотік, безпосередньо впливає на ритм обслуговування, дотримання розкладу та навантаження на точки доступу [2]. Тому середовище впровадження є операційно напруженим від початку: система

має працювати швидко не в лабораторних умовах, а за змінного навантаження і постійного тиску на час обслуговування. Галузеві документи визначають безперервний користувацький досвід (frictionless customer experience) та операційну ефективність (operational efficiency) як ключові вимоги до open-loop рішень у транспорті.

Принциповою особливістю є також те, що транспортна платіжна подія прив'язана до тарифної, маршрутної та сервісної логіки. У багатьох системах вартість поїздки визначається з урахуванням зон, кількості пересадок, обсягу використання мережі, типу пасажирів, пільг, добових або тижневих обмежень [1, 3]. UITP наводить численні приклади систем, де check-in/check-out і fare capping є невід'ємною частиною користувацького сценарію; Світовий банк розглядає інтегроване квиткування як механізм поєднання тарифної політики, мультимодальної пропозиції та узгодженої взаємодії між операторами. Це означає, що якість платіжного рішення в транспорті залежить від того, наскільки коректно воно вбудоване в правила доступу до послуги, тарифікації й контролю.

Окремою особливістю є висока чутливість транспортного середовища до offline/fallback-сценаріїв і вимога безперервності обслуговування. Для транспортного сервісу неприйнятна модель, за якої відмова окремого каналу зв'язку автоматично блокує обслуговування пасажирів [1]. UITP прямо вказує, що для account-based схем суттєвими залишаються питання online/offline-функціонування, синхронізації даних і управління ризиком втрати доходу за відсутності зв'язку. Транспортний сервіс не можна призупинити без негайних наслідків для посадки, контролю і виконання рейсів. Надійність платіжного рішення вимірюється не лише точністю обробки транзакції, а й здатністю підтримувати безперервність транспортного процесу за технічних або мережевих відхилень.

Нарешті, транспортне середовище часто функціонує у змішаному режимі, де співіснують старі та нові моделі квиткування, кілька технологій і кілька типів правил одночасно. UITP описує системи, де stored value smartcards, EMV, mobile

ticketing і готівка поєднуються в одній мережі; Світовий банк окремо наголошує на труднощах інтеграції між операторами та потребі в узгоджених специфікаціях для досягнення інтероперабельності [1]. Рішення майже ніколи не працює в ізольованому середовищі: воно повинне враховувати legacy-системи, наявні процеси контролю, вже існуючі носії квитка й відмінності між видами транспорту [3, 5]. Саме ця гібридність значно ускладнює впровадження порівняно зі сферами, де один платіжний інструмент замінює інший без глибокої перебудови правил сервісу.

Транспортна система як середовище впровадження платіжних рішень характеризується кількома принциповими рисами: високою щільністю потоку, обмеженим часом на взаємодію, тісним зв'язком між оплатою і тарифною логікою, залежністю від безперервності обслуговування, потребою в offline/fallback-сценаріях і співіснуванням кількох технологічних режимів. У сукупності ці риси зумовлюють, що впровадження платіжних рішень у транспортних системах є задачею не лише технічної реалізації, а й організації, інтеграції та подальшого управління. Отже, таке впровадження доцільно розглядати як об'єкт управління життєвим циклом складного ІТ-проєкту.

1.3 Безконтактна платіжна інфраструктура як об'єкт управління життєвим циклом ІТ-проєкту

Розгляд безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах лише як сукупності технічних засобів приймання оплати є методично недостатнім. Такий підхід звужує об'єкт аналізу до рівня валідатора або окремого платіжного інтерфейсу і не дозволяє пояснити, чому фактичне впровадження подібних рішень у реальному транспортному середовищі виявляється значно складнішим, ніж проста заміна способу оплати [1]. У межах

цього дослідження доцільно виходити з того, що предметом уваги є не окрема транзакційна функція, а впровадження багатокомпонентної інфраструктури, яка повинна бути інтегрована в наявну систему транспортного обслуговування, тарифікації, обліку поїздок, контролю, підтримки користувачів і операційного управління [2, 3].

Саме тому впровадження безконтактної платіжної інфраструктури не можна коректно трактувати як звичайну закупівлю обладнання або локальну модернізацію окремого ІТ-компонента. На відміну від ізольованого технічного оновлення, тут змінюється логіка функціонування цілої низки процесів: ідентифікації поїздки, перевірки права на проїзд, застосування тарифних правил, фіксації транспортних подій, передачі даних, обробки винятків, моніторингу, звітності та подальшого супроводу [3, 4]. Впровадження зачіпає не окремий технічний вузол, а систему взаємопов'язаних процесів і підсистем, що виводить його в площину проєктного управління.

Ознаки складного ІТ-проєкту проявляються в кількох вимірах. По-перше, конкретна конфігурація впровадження суттєво залежить від структури оператора, набору наявних інформаційних систем, архітектури тарифікації, типів рухомого складу та зовнішніх обмежень і, як правило, вимагає адаптації навіть за використання подібних технологічних рішень [3, 6]. По-друге, проєкт передбачає багатосторонню координацію і не може бути реалізований силами одного підрозділу, оскільки потребує узгодження між транспортним оператором, постачальниками рішень, платіжними партнерами, ІТ-командами та службами експлуатації [2]. По-третє, такий проєкт розгортається у фазах – від ініціації та обґрунтування до інтеграції, тестування, пілота, масштабування і стабілізації [2, 7, 8].

Окремо слід наголосити, що цей тип проєкту має одночасно інтеграційний, інфраструктурний і трансформаційний характер. Інтеграційний характер зумовлений тим, що нова платіжна інфраструктура майже ніколи не створюється в порожньому середовищі: вона має взаємодіяти з legacy-системами оператора,

наявними механізмами квиткування, тарифними ядрами, бек-офісними модулями та засобами звітності, які часто проєктувалися без урахування сучасної open-loop або account-based логіки [1, 3]. Основна складність полягає не в можливості додати новий канал оплати, а в досягненні керованої сумісності, цілісності даних і передбачуваної поведінки системи під час реальної експлуатації.

Інфраструктурний характер проявляється в тому, що результатом проєкту є не лише програмний продукт, а працездатний контур сервісу: він включає обладнання, канали зв'язку, конфігурацію середовищ, інтеграційні шлюзи, правила обробки транзакцій і транспортних подій, а також механізми моніторингу, підтримки та контролю [2, 4]. Якість інфраструктурного проєкту визначається не лише функціональністю рішення, а й готовністю до реального використання в розподіленому, навантаженому і чутливому до збоїв середовищі. Для транспорту це особливо суттєво: локальні порушення в роботі платіжного контуру впливають не лише на фінансову складову, а й на посадку пасажирів, швидкість проходу і загальну стабільність сервісу.

Такий проєкт має виразні трансформаційні ознаки: він не лише змінює інструментарій, а й суттєво впливає на організаційну модель роботи [4]. Після впровадження змінюються правила обслуговування користувачів, сценарії роботи контролерів, вимоги до служби підтримки, підходи до аналізу поїздок і доходів, розподіл відповідальності між підрозділами. У багатьох випадках доводиться одночасно підтримувати старі та нові механізми оплати, керувати перехідним періодом, навчати персонал і узгоджувати нові процедури реагування на інциденти. Отже, йдеться не просто про технічне розгортання, а про керований організаційно-технологічний перехід.

За таких умов саме життєвий цикл проєкту стає центральною управлінською категорією. Якщо розглядати впровадження лише як одноразовий акт запуску, поза увагою залишаються ті етапи, на яких зазвичай формується більшість ризиків: підготовка вимог, оцінка вихідного середовища,

проектування цільової архітектури, вибір меж пілота, перевірка інтеграційної готовності, формування критеріїв успішності, рішення про перехід до масштабування та стабілізація після запуску [2, 7]. Критично важливою є не лише логіка виконання окремих робіт, а й логіка переходу між фазами. Галузева практика свідчить, що поетапний підхід до розгортання, як правило, дає більш керований результат, ніж одномоментний запуск: передчасне масштабування, недостатньо підготовлений пілот або формальне закриття етапу без досягнення фактичної готовності здатні суттєво ускладнити подальшу експлуатацію [4].

Звідси випливає принциповий висновок: у фокусі управління має перебувати не лише виконання робіт, а й керованість фазових переходів. Це передбачає необхідність визначення критеріїв готовності, контрольних точок, управлінських артефактів і процедур прийняття рішень для кожної ключової стадії проєкту [7, 9]. Особливого значення набувають переходи від попереднього аналізу до проєктування, від проєктування до інтеграційної реалізації, від реалізації до пілота, від пілота до масштабування, а також від запуску до стабілізації та супроводу.

Отже, безконтактна платіжна інфраструктура в транспортних системах має розглядатися як об'єкт управління життєвим циклом складного ІТ-проєкту, що поєднує інтеграційний, інфраструктурний і трансформаційний виміри. Це зумовлює потребу у визначенні учасників, контурів взаємодії, критичних проблем і вузьких місць, які впливають на керованість такого проєкту на різних фазах його життєвого циклу.

1.4 Основні учасники, системи та контури взаємодії

Для проєктів впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах принципово недостатньо розглядати лише технологічну архітектуру рішення. Навіть за наявності працездатних технічних компонентів

результат проєкту визначається тим, наскільки узгоджено взаємодіють між собою організації, підсистеми та операційні контури, через які проходять транспортна подія, платіжна подія, дані, управлінські рішення та зворотний зв'язок від користувача [2, 3]. Саме тому складність такого впровадження має екосистемний характер: у ньому одночасно присутні різні суб'єкти з відмінними цілями, різні класи систем із неоднаковою логікою функціонування та кілька контурів взаємодії, жоден із яких не може бути ізольований без втрати керованості всього проєкту.

Першу ключову групу учасників становлять транспортний оператор або перевізник та замовник у ширшому інституційному сенсі – муніципалітет, транспортний орган або інша структура, що визначає правила функціонування транспортної послуги, рамки фінансування, вимоги до сервісу і допустимі параметри впровадження [3]. Хоча в окремих сценаріях ці ролі можуть бути поєднані або розподілені по-різному, саме між ними формується базовий контур постановки вимог: один контур відповідає за реальну експлуатацію сервісу, інший – за політику, цілі, регуляторні рамки й інституційну підтримку змін. Уже на цьому рівні виникає важлива управлінська особливість: рішення про впровадження приймається не в технічному вакуумі, а в системі публічних, операційних і фінансових обмежень.

Другу групу учасників охоплюють постачальники рішень, інтегратори, розробники окремих компонентів та інші зовнішні команди, які забезпечують технічне складання, адаптацію або супровід платіжної інфраструктури [4, 6]. Їхня роль не зводиться до поставки окремого продукту, оскільки фактично вони стають носіями частини знань про архітектуру майбутнього рішення, способи його інтеграції, обмеження сумісності, варіанти пілотування і логіку переходу до експлуатації. Значна частина критично важливих рішень формується на межі між внутрішніми підрозділами оператора та зовнішніми учасниками проєкту, а отже, потребує не просто технічного контракування, а постійної координації й узгодження відповідальності.

Третю групу становлять платіжні партнери та фінансові посередники, які забезпечують проходження фінансового контуру, правила обробки платіжних

подій, розрахунки, звірки, повернення, а в окремих випадках – також вимоги до безпеки, звітності та сумісності з наявною платіжною інфраструктурою [1]. Саме на межі між транспортною логікою та фінансовим контуром виникає одна з найчутливіших зон проєкту: транспортна система працює з поїздками, тарифами, винятками і часовими сценаріями, тоді як фінансові учасники – з транзакціями, обліком, розрахунками і контролем. Тому навіть відносно проста на рівні користувача дія прикладання картки чи телефона вимагає координації щонайменше двох різних логік – транспортної та платіжної.

Окрему, але не менш важливу групу формують служби експлуатації, контролю та підтримки – оператори бек-офісу, контролери, диспетчерські або сервісні підрозділи, а також команди, що реагують на інциденти й забезпечують роботу системи після запуску [4, 10]. Саме вони першими стикаються з наслідками неузгоджених вимог, слабких інтеграцій або недоопрацьованих сценаріїв винятків. Якщо на етапі проєктування їх роль часто залишається другорядною, то під час фактичного введення в експлуатацію вони стають носіями реального знання про працездатність системи. Це означає, що в життєвому циклі такого ІТ-проєкту їх не можна розглядати лише як кінцевих виконавців: вони є важливою частиною зворотного зв'язку, без якого стабілізація та масштабування втрачають керованість.

Ще одну окрему групу становлять пасажирів або користувачів сервісу. Формально вони не належать до команди проєкту, однак фактично є одним із центральних елементів екосистеми взаємодії: саме на їхньому рівні перевіряється прийнятність нового способу оплати, зрозумілість користувацького сценарію, доступність сервісу для різних категорій населення та реальна інклюзивність рішення [11, 12]. Для цього класу проєктів це особливо суттєво, оскільки навіть технічно стабільне рішення може виявитися організаційно неуспішним, якщо воно погано вбудовується у звички пасажирів або не враховує виняткових сценаріїв використання.

Поряд із групами учасників у межах проєкту взаємодіють і кілька груп систем та підсистем. З одного боку, це транспортні системи, що забезпечують маршрути, рейси, облік поїздок, правила контролю та тарифікації; з іншого –

платіжні та облікові системи, що відповідають за фіксацію, обробку, звірку і подальший фінансовий супровід подій [1, 3]. Між ними розташовується інтеграційний шар, який забезпечує передачу даних, зіставлення транспортної події з платіжною, синхронізацію довідників, правил, статусів і винятків. Окремо діють сервісні та експлуатаційні підсистеми: моніторинг, підтримка користувачів, інцидент-менеджмент, звітність і контроль працездатності. Над усім цим існує нормативно-управлінський контур, у межах якого визначаються правила впровадження, зони відповідальності та критерії прийняття рішень.

Узагальнюючи, у межах такого проекту можна виділити щонайменше п'ять основних контурів взаємодії: транспортний, платіжний, ІТ-інтеграційний, сервісний (експлуатаційний) та нормативно-управлінський. Транспортний контур пов'язаний із фактом поїздки, маршрутом і тарифною логікою. Платіжний – із обробкою платіжної події та фінансовими процедурами. ІТ-інтеграційний забезпечує узгоджене функціонування підсистем і передачу даних між ними. Сервісний відповідає за працездатність у реальній експлуатації та обробку інцидентів. Нормативно-управлінський задає правила, межі й порядок прийняття рішень на різних фазах життєвого циклу. Принципово важливо те, що ці контури не існують ізольовано: зміна в одному з них зазвичай впливає на інші.

Саме ця багатоконтурність і породжує високу управлінську складність проекту. Наприклад, зміна тарифної логіки є водночас зміною транспортного, інтеграційного, сервісного і частково платіжного контуру; впровадження нового сценарію валідації одночасно зачіпає користувацький досвід, контроль, облік поїздок і бек-офісну обробку; інцидент на рівні підтримки може виявитися наслідком не сервісної, а інтеграційної або нормативної неузгодженості [3, 4]. Управління таким проектом не може спиратися лише на лінійну модель «замовник – постачальник – запуск». Воно передбачає міжорганізаційну координацію, узгоджений розподіл ролей і відповідальності, а також наявність спільної управлінської логіки, здатної зводити в єдине ціле різні контури функціонування системи [3, 4, 7, 10].

Отже, впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах є складним не лише через кількість технічних

компонентів, а передусім через множинність учасників, різноманітність систем і перехресні контури взаємодії. Це зумовлює потребу в управлінському підході, який забезпечує координацію таких контурів на різних фазах життєвого циклу ІТ-проєкту.

1.5 Ключові проблеми, обмеження та виклики впровадження й управління

Ключові труднощі впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах виникають не лише на рівні вибору технології або окремого способу оплати. Їх джерело лежить значно глибше – у необхідності узгодити багатокomпонентну соціотехнічну систему, що поєднує транспортну логіку, платіжний контур, legacy-середовище, зовнішніх постачальників, експлуатаційні підрозділи та користувацькі сценарії в єдиному життєвому циклі проєкту [2, 3]. Саме тому навіть наявність технічно придатних рішень не гарантує простоти впровадження: проблема полягає не в самій можливості реалізувати оплату, а в здатності керовано пройти шлях від підготовки та інтеграції до запуску, стабілізації та масштабування без втрати узгодженості між контурами системи.

Першу велику групу проблем становлять інтеграційні та архітектурні обмеження. Багато транспортних систем уже мають власні механізми квиткування, обліку поїздок, контролю та бек-офісної обробки, створені в різний час і за різною логікою. У таких умовах нова платіжна інфраструктура повинна бути сумісною з наявним середовищем, часто фрагментованим і частково закритим [3, 5]. Світовий банк прямо вказує, що для інтеоперабельності необхідно або закуповувати технологію в одного постачальника, або розробляти окрему специфікацію інтерфейсів для різних учасників; обидва варіанти мають наслідки для архітектури, контракування та керованості [3]. Додаткову складність створює те, що account-based та open-loop архітектури розширюють можливості системи, але водночас підвищують залежність від інтеграційного

шару і вимагають більш зрілої координації даних, правил і статусів між підсистемами.

Другою великою групою є організаційні та стейкхолдерні труднощі. Для транспортних агентств, що працюють автономно, із власними політиками та обладнанням, впровадження інтероперабельної або відкритої платіжної моделі неминуче виходить за межі звичайного ІТ-впровадження [3]. Світовий банк підкреслює, що одним із найзначущіших викликів є вплив наявних організаційних культур на взаємодію учасників, а серед першочергових завдань – створення governance-структури, рамки фінансування, графіка розгортання та контрактної стратегії [3]. До цього додаються інституційні передумови: в окремих середовищах інтегрована система збору плати може потребувати оновлення контрактної моделі, зміни правил розподілу доходів і перегляду ролей між оператором і транспортним органом ще до початку технологічного етапу [4].

Третя група проблем пов'язана з пілотаванням, переходами між фазами та масштабуванням. Галузеві дорожні карти описують впровадження як послідовність етапів – від планування і побудови до запуску та подальшого вдосконалення (ongoing improvement), – і сам процес уже визнається фазовим і таким, що потребує поступового розвитку [2]. Проте саме переходи між фазами часто виявляються слабо формалізованими: недостатньо чітко визначаються межі пілота, критерії готовності, допустимі винятки, умови переходу до масштабування та відповідальність за стабілізацію. Можливі дві симетричні помилки: або пілот залишається ізольованою демонстрацією без стійкого переходу до системного розгортання, або масштабування починається передчасно, коли інтеграційні або сервісні проблеми ще не локалізовані. Ця група труднощів безпосередньо пов'язана з керуванням життєвим циклом проекту, а не лише з властивостями конкретного технічного рішення.

Четверту групу становлять експлуатаційні та сервісні виклики. Безконтактна платіжна інфраструктура повинна функціонувати в режимі реального транспортного сервісу, де критичними є швидкість, передбачуваність і стійкість до відмов. UITP наголошує, що для АВТ та споріднених моделей важливими залишаються питання онлайн/офлайн роботи, синхронізації даних і

ризиків втрати доходу за відсутності зв'язку [1]. Крім того, централізовані сервери управління даними концентрують критичні функції й підвищують значущість інцидентів безпеки або порушень доступності [1]. Для оператора це означає додаткове навантаження на моніторинг, обробку інцидентів, контроль аномалій і взаємодію з користувачами у спірних ситуаціях. Навіть після формального запуску проєкт вимагає окремого управління фазою стабілізації й супроводу.

П'ята група проблем стосується фінансових, строкових та ресурсних обмежень. Для малих і середніх транспортних агентств ці обмеження часто є визначальним фактором. Дослідження малих і змішаних агентств у Каліфорнії показало, що серед найчастіше згадуваних бар'єрів були бек-офісна платіжна інфраструктура, вартість обладнання для open payment, технологічна складність, а також кадрові та інші ресурсні обмеження [12]. Федеральна транзитна адміністрація США окремо фіксує, що кадрові та ресурсні обмеження в малих і середніх агентствах часто стають більшою перешкодою для нових технологічних моделей, ніж самі регуляторні вимоги [13]. Додатково open-loop може збільшувати транзакційні витрати для агентств через менший середній чек і повторюваність фіксованих компонентів комісії [14]. Технічно привабливе рішення може виявитися складним з точки зору бізнес-кейсу, термінів і доступності ресурсів для підтримки.

Шоста група проблем пов'язана з інклюзивністю, доступністю та користувацькими обмеженнями. У публічному транспорті платіжна система не може оцінюватися лише за швидкістю обслуговування: вона безпосередньо впливає на фактичний доступ до мобільності. Доступність безконтактного або cashless-сценарію для unbanked та underbanked пасажирів, користувачів без смартфона, старших вікових груп або тих, хто покладається на готівку, становить реальну частину проблемного поля [15]. UITP прямо вказує, що open-loop рішення мають розглядати способи забезпечення доступності для underbanked або unbanked users, а емпіричні дослідження показують, що багато пасажирів стикаються з ризиком виключення за форсованого переходу до cashless-моделі [1, 11, 12]. Інклюзивність є не додатковою соціальною опцією, а управлінською

вимогою до дизайну й логіки розгортання системи.

Отже, ключові проблеми впровадження безконтактної платіжної інфраструктури концентруються на стику інтеграції, управлінської координації (governance), експлуатації, ресурсних обмежень і користувацької доступності, а не лише на рівні технічної реалізації. Це підтверджує потребу в цілісному підході до управління життєвим циклом такого ІТ-проєкту, який формалізує фази, критерії готовності, ролі учасників і механізми переходу від пілота до масштабованої експлуатації.

1.6 Постановка проблеми та задачі дослідження та межі існуючих підходів

Узагальнення результатів аналізу предметної області дає підстави розглядати безконтактну платіжну інфраструктуру в транспортних системах як складну багатокомпонентну соціотехнічну систему, у межах якої поєднуються транспортні, платіжні, інформаційні, організаційні та експлуатаційні контури. Ключова складність полягає не лише в технічній реалізації механізму оплати, а в забезпеченні керованого проходження всіх фаз впровадження – від ініціації та узгодження вимог до пілотування, масштабування, стабілізації та подальшого супроводу.

У прикладному вимірі проблема полягає не у відсутності технологій безконтактної оплати, а в тому, що їх впровадження в транспортному середовищі часто є складним, дорогим і контекстно залежним процесом. Галузева практика фіксує, що подібні проєкти можуть супроводжуватися суттєвим перевищенням бюджету та строків навіть за наявності досвідченого підрядника і визначеного технічного рішення. Показовим прикладом є досвід модернізації системи збору плати МВТА (AFC 2.0), де початковий кошторис зріс майже на 30 %, а строки реалізації затяглися на три роки попри масштабне фінансування [16]. Найбільш уразливими зонами при цьому виявляються інтеграція з наявними системами перевізника, координація зацікавлених сторін, організація поетапного запуску,

забезпечення експлуатаційної готовності та управління ризиками переходу між фазами. Отже, безконтактна платіжна інфраструктура в транспорті потребує розгляду як об'єкт управління життєвим циклом складного інтеграційного та трансформаційного ІТ-проєкту.

У науковій та прикладній площині вже сформувалися певні підходи до реалізації подібних систем. До них належать великі централізовані моделі, що будуються навколо єдиного замовника або домінуючого оператора; національні чи регіональні кооперативні схеми з узгодженими стандартами та спільними інфраструктурними рішеннями; vendor-led платформи, орієнтовані на прискорене розгортання; open-loop та account-based підходи, що переносять значну частину логіки у бек-офіс; а також галузеві дорожні карти, стандарти і практичні керівництва щодо впровадження [1, 6]. Наявність таких підходів свідчить про те, що галузь накопичила значний практичний досвід.

Однак наявність практичних рішень ще не означає наявності цілісної, формалізованої та відтворюваної моделі управління життєвим циклом такого ІТ-проєкту. Значна частина існуючих підходів має case-specific характер: вони прив'язані до конкретного міста, конкретного оператора чи наявної архітектури і залишаються локальними рішеннями, які важко масштабувати за межі власного контексту [10]. Інша частина є vendor-driven, коли логіка впровадження підпорядкована межам певної платформи або комерційної моделі постачальника. Окремо слід відзначити технологічно орієнтовані підходи, де основна увага приділяється open-loop, АВТ або інтероперабельності, тоді як питання управлінської координації (governance), переходу між фазами, критеріїв готовності, управління змінами (change management) та експлуатаційної стабілізації висвітлюються фрагментарно [1]. Такі підходи залишаються корисними як практичні орієнтири, але не формують достатньо універсальної управлінської моделі, придатної для повторного застосування в різних контекстах.

Особливо гостро ця межа проявляється у випадку малих і середніх транспортних агентств та муніципальних операторів. Емпіричне дослідження Pike et al. (2024), проведене на вибірці з 21 каліфорнійського транзитного

агентства, зафіксувало, що ключовими бар'єрами впровадження open-loop платежів є складність бек-офісної інфраструктури, вартість обладнання, технологічна складність та обмеженість кадрових ресурсів [12]. У таких умовах навіть наявність технічно придатного рішення або успішного зовнішнього кейсу не гарантує керованості впровадження: відсутність формалізованого підходу змушує проектну команду щоразу заново збирати логіку етапів, ролей, критеріїв переходу та механізмів контролю, що збільшує вартість підготовки, ускладнює масштабування і підвищує чутливість результату до ситуативних організаційних рішень.

Наукова проблема дослідження полягає в недостатній адаптованості та формалізованості існуючих підходів до управління IT-проектами для специфіки життєвого циклу впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспорті. Існуючі методи не забезпечують цілісної відтворюваної логіки управління фазами, ролями, критеріями готовності та постзапусковою стабілізацією.

Наукове завдання дослідження полягає у розробленні спеціалізованої методології управління життєвим циклом IT-проекту, достатньо формалізованої для практичного застосування і водночас гнучкої для адаптації до різних масштабів, організаційних умов та конфігурацій транспортних систем. Ця методологія має інтегрувати етапну структуру життєвого циклу, принципи управлінської координації, управління зацікавленими сторонами, механізми інтеграції, підготовку та оцінювання пілота, критерії переходу до масштабування, а також контури контролю ризиків, строків, вартості, якості, управління змінами та експлуатаційної готовності.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ІТ-ПРОЄКТІВ

Впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах характеризується як складний інтеграційний, інфраструктурний і трансформаційний ІТ-проєкт, специфіка якого визначається багатокomпонентністю рішення, множинністю зацікавлених сторін, необхідністю поетапного запуску та підтримки безперервної експлуатації. Водночас наявні практики здебільшого мають case-specific або vendor-driven характер і не формують достатньо відтворюваної моделі управління життєвим циклом такого класу проєктів.

Аналіз існуючих підходів до управління життєвим циклом ІТ-проєктів доцільно здійснювати у трьох взаємопов'язаних площинах: загальні методології проєктного менеджменту, системно-інженерні та lifecycle-орієнтовані рамки, а також галузеві практики впровадження безконтактної оплати в транспорті. Така логіка дає змогу послідовно перейти від універсальних управлінських інструментів до предметно-специфічних патернів, оцінити їх за єдиним набором критеріїв і визначити зони покриття, прогалини та межі застосовності. Результатом аналізу є формування вимог до спеціалізованої методології управління життєвим циклом, яка надалі використовується як основа для розробки RG-HLM (Readiness-Gated Hybrid Lifecycle Methodology).

2.1 Загальні методології управління ІТ-проєктами

Загальні методології управління проєктами становлять базовий інструментальний шар для аналізу придатності наявних підходів до управління

життєвим циклом транспортного платіжного впровадження. Головними орієнтирами в цій площині є стандарт PMBOK, що розробляється Інститутом управління проєктами (PMI), а також методологія PRINCE2, яка розвивається під егідою PeopleCert. Обидва підходи еволюціонували протягом останніх десятиліть і суттєво змінили свою архітектуру в нових редакціях.

Сьоме видання PMBOK (2021) [7] здійснило концептуальний поворот від процесно-орієнтованої до принципно-орієнтованої парадигми. Замість п'яти груп процесів та десяти областей знань стандарт запропонував 12 принципів управління проєктами та 8 доменів виконання (Performance Domains): стейкхолдери, команда, підхід до розробки та життєвий цикл, планування, проєктна робота, постачання результату, вимірювання та невизначеність. Ключовим нововведенням стало визнання необхідності tailoring – адаптації підходу до конкретного проєктного контексту. Стандарт прямо вказує, що організації повинні обирати підхід до розробки та життєвого циклу залежно від характеристик проєкту, а не нав'язувати єдину жорстку модель [7]. Це створює концептуальну передумову для застосування PMBOK до специфічних проєктних контекстів, зокрема транспортного платіжного впровадження.

Восьме видання PMBOK (2025) [20] розвиває цей підхід, зберігаючи принципно-доменну основу сьомого видання, але уточнюючи її через шість базових принципів, сім доменів виконання та оновлені процесні настанови. Стандарт посилює орієнтацію на цінність, адаптивність, підзвітність, управління невизначеністю та зв'язок проєкту з організаційним середовищем. Для проєктів впровадження безконтактної платіжної інфраструктури це створює корисну загальну основу, однак PMBOK 8 залишається галузево-нейтральним: він не визначає специфічних критеріїв готовності до переходу між фазами, не формалізує процеси інтеграції транспортних, платіжних і експлуатаційних контурів та не пропонує окремого механізму управління переходом від пілотного запуску до масштабування.

PRINCE2 у сьомій редакції (2023) [21] зберіг ідентичність як governance-

орієнтована методологія, побудована на семи принципах, семи практиках і семи процесах. До ключових принципів належать *continued business justification*, *manage by stages* і *manage by exception*. Особливо важливою для аналізу є практика управління за етапами (*manage by stages*): проєкт поділяється на *management stages*, кожен з яких завершується формальною оцінкою та рішенням про продовження. Це забезпечує контрольовані точки прийняття рішень і може бути використано для організації фазового управління транспортним впровадженням. Сьома редакція також запровадила *Digital & Data Management* як нову інтегровану тему та посилила увагу до питань управління людьми та взаємодією учасників проєкту [21].

Водночас PRINCE2 має обмеження, релевантні для розглядуваного контексту. Методологія не деталізує технічне управління інтеграцією підсистем; її *management stages* орієнтовані переважно на організаційну та фінансову перевірку, але не формалізують перевірку технічної й експлуатаційної готовності (*operational readiness*). Крім того, PRINCE2 не містить вбудованих механізмів управління переходом від пілота до масштабування – ситуацією, коли зростання обсягів транзакцій, географічне розширення та підключення нових стейкхолдерів різко ускладнюють координацію. Governance-рамка PRINCE2 є сильною на макрорівні, але не надає предметних інструментів для мультистейкхолдерної управлінської координації, характерної для транспортних платіжних проєктів, де одночасно задіяні транспортний оператор, регулятор, банк-еквайєр, платіжна система, інтегратор та постачальник обладнання.

Agile-підходи, засновані на Agile Manifesto (2001) [22] і його похідних фреймворках (Scrum, Kanban, SAFe), пропонують ітеративну модель розробки, орієнтовану на швидку доставку цінності, зворотний зв'язок і адаптивність. Для програмних компонентів платіжної інфраструктури – модулів тарифікації, бек-офісної логіки, мобільних застосунків, панелей моніторингу – agile-методи можуть бути ефективними. Однак впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспорті не зводиться до розробки програмного

забезпечення. Проєкт включає закупівлю і монтаж апаратного забезпечення, інтеграцію з банківськими мережами, сертифікацію EMV, адаптацію тарифної політики, навчання персоналу та зміну регуляторних режимів – процеси, які за своєю природою є predictive і не допускають повного ітеративного переосмислення результату після кожного спринту.

Це зумовлює зростання інтересу до гібридних підходів, які поєднують predictive-планування для інфраструктурних та інтеграційних компонентів з agile-методами для програмної розробки та налаштування. Галузеві дослідження Association for Project Management (APM) [23] щодо застосування гібридних підходів у складних інфраструктурних та цифрових програмах показують, що гібридний підхід дає змогу зберегти прогнозованість на рівні інфраструктурних робіт і водночас забезпечити гнучкість на рівні цифрових рішень. Однак успіх гібридного управління залежить від чіткості governance – визначення, які елементи проєкту підпорядковуються якій логіці і як забезпечується синхронізація між ними [23]. Для транспортних платіжних проєктів ця проблема є особливо гострою: апаратне забезпечення, інтеграція та сертифікація мають жорсткі залежності, тоді як бек-офісна логіка і тарифні правила потребують адаптивності.

Таким чином, загальні методології управління проєктами формують необхідну, але недостатню базу для управління життєвим циклом впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспорті. PMBOK Guide 7th/8th Edition надають концептуальний каркас – принципи, домени, процесні настанови та визнання необхідності tailoring, – проте залишаються галузево-нейтральними й не пропонують специфічних інструментів для інтеграції мультикомпонентних систем, управління переходами між фазами або забезпечення експлуатаційної готовності. PRINCE2 7 пропонує сильну governance-рамку та управління за етапами, але не формалізує критерії технічної та операційної готовності й не охоплює мультистейкхолдерну специфіку транспортних платіжних впроваджень. Agile-методи застосовні для окремих програмних компонентів, але

не можуть бути покладені в основу управління проектом у цілому. Гібридні підходи визнають необхідність поєднання predictive та agile логік, проте не визначають, як саме це поєднання має бути структуровано для конкретного класу проектів. Це обґрунтовує необхідність звернення до додаткових інструментальних шарів – системно-інженерних та lifecycle-орієнтованих підходів.

2.2 Системно-інженерні та lifecycle-орієнтовані підходи

Якщо загальні РМ-методології оперують насамперед управлінськими та організаційними категоріями – обсяг робіт, графік, вартість, ризики, зацікавлені сторони, – то системна інженерія (Systems Engineering, SE) та lifecycle-орієнтовані підходи зосереджуються на предметі створення: системі як об’єкті з визначеними стадіями існування, вимогами, інтерфейсами та критеріями переходу між фазами. Для проекту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури, який розглядається як складний інтеграційний та інфраструктурний ІТ-проект, цей інструментальний шар має особливе значення.

Довідник INCOSE з системної інженерії (5-те видання, 2023) [8] визначає життєвий цикл системи як послідовність стадій: концепція, розроблення, виробництво, використання, підтримка та виведення з експлуатації. Кожна стадія має визначену мету, набір процесів і результатів. Принципово важливим є те, що системна інженерія розглядає життєвий цикл не лише як проектну фазу створення, а як повний цикл існування системи – від концепції до виведення з експлуатації [8]. Для транспортної платіжної інфраструктури це означає, що управління проектом не може обмежуватися доставкою рішення (delivery): стадії використання і підтримки є повноправними елементами життєвого циклу, які потребують планування від початку проекту.

Міжнародний стандарт ISO/IEC/IEEE 15288:2023 [24] формалізує процеси життєвого циклу систем і визначає чотири категорії процесів: agreement

processes, organizational project-enabling processes, technical management processes і technical processes. Стандарт запроваджує поняття decision gates – контрольних точок, у яких приймається рішення про перехід до наступної стадії, продовження поточної або припинення проєкту. Decision gates передбачають оцінку готовності системи до переходу (readiness assessment), верифікацію і валідацію (V&V), перевірку відповідності вимогам [24]. Для транспортного впровадження ця логіка є суттєво ближчою до реальних потреб, ніж загальне управління за етапами PRINCE2, оскільки decision gate може включати перевірку технічної інтеграції, сертифікаційної відповідності, допустимого часу валідації та інших предметно-специфічних критеріїв, а не лише організаційну або фінансову перевірку.

Модель Stage-Gate, розроблена Р. Купером [25] для управління інноваційними продуктовими проєктами, пропонує структуроване чергування стадій (stages) та воріт (gates). На кожній стадії виконується визначений набір робіт; ворота є точками прийняття рішень, де проєкт оцінюється за заздалегідь установленими критеріями і може бути схвалений для переходу на наступну стадію, направлений на доопрацювання або припинений. Огляд еволюції моделі Stage-Gate [26] показує, що сучасні ітерації, зокрема Next-Generation Stage-Gate, інтегрують елементи agile-розробки на рівні стадій, зберігаючи при цьому формальні ворота як інструмент governance. Це робить модель потенційно застосовною до гібридних контекстів, де частина робіт є predictive, а частина – ітеративною.

Для проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури модель Stage-Gate пропонує важливу структурну ідею: кожен перехід – від концепції до пілота, від пілота до масштабування, від масштабування до стабільної експлуатації – може бути оформлений як ворота з набором критеріїв, які підлягають перевірці. Однак стандартна модель Stage-Gate орієнтована переважно на продуктову розробку в межах однієї організації і не охоплює ситуації мультистейкхолдерної інтеграції, коли різні учасники виконують різні частини робіт на кожній стадії, а відповідальність за проходження воріт не може бути зосереджена в одному органі прийняття рішень.

Окремою релевантною концепцією є готовність (readiness). Традиція системної інженерії використовує Technology Readiness Levels (TRL), System Readiness Levels (SRL) та Integration Readiness Levels (IRL) для оцінювання зрілості технологій, систем та інтеграційних зв'язків [8]. Ці інструменти дозволяють кількісно або напівкількісно оцінити, наскільки система або її компонент готові до переходу на наступну стадію. Для транспортного платіжного впровадження ідея readiness levels може бути адаптована у вигляді специфічних критеріїв готовності: чи забезпечено допустимий час валідації, чи пройдено EMV-сертифікацію, чи протестовано інтеграцію з тарифною системою, чи підготовлено план міграції з legacy-системи. Однак наявні readiness-шкали не містять таких галузево-специфічних метрик і залишаються на рівні загальних описів технічної зрілості.

Важливу роль у системно-інженерних підходах відіграє концепція transition – переходу від розроблення до експлуатації. INCOSE [8] та FTA у своїх настановах з управління проєктами та будівництвом [27] наголошують на необхідності планування operational transition як окремого процесу, що включає передачу знань, підготовку операційного персоналу, валідацію системи в реальних умовах, формування сервісних механізмів і забезпечення зворотного зв'язку. У настановах FTA operational readiness review розглядається як важливий елемент підготовки транспортної системи до введення в експлуатацію [27]. Для безконтактної платіжної інфраструктури transition набуває особливого значення через те, що система має працювати безперебійно в умовах реального пасажиропотоку, де будь-який збій негайно впливає на якість транспортної послуги.

Верифікація і валідація (V&V) є ще одним ключовим елементом системно-інженерного підходу. Верифікація відповідає на питання «чи правильно побудовано систему?» і стосується відповідності специфікаціям, тоді як валідація відповідає на питання «чи побудовано правильну систему?» і стосується відповідності потребам стейкхолдерів [8, 24]. Для транспортного платіжного впровадження V&V має особливу специфіку: валідація передбачає перевірку не лише технічної коректності, а й відповідності тарифним правилам,

коректності нарахування та списання коштів, поведінки системи в пікових навантаженнях, адекватності fallback-механізмів і прийнятності для різних категорій пасажирів. Ці аспекти виходять за межі технічної верифікації і потребують участі транспортного оператора, регулятора та інших стейкхолдерів.

Таким чином, системно-інженерні та lifecycle-орієнтовані підходи надають більш релевантний інструментарій для управління фазовістю, переходами, інтеграцією та готовністю, ніж загальні PM-методології. Поняття життєвого циклу системи з визначеними стадіями, decision gates з критеріями готовності, readiness assessment, V&V та operational transition безпосередньо релевантні для транспортного платіжного впровадження. Водночас наявні системно-інженерні рамки залишаються предметно-нейтральними: вони визначають загальну логіку побудови життєвого циклу, але не пропонують галузево-специфічних стадій, критеріїв і механізмів, адаптованих до транспортного платіжного середовища. Зокрема, такі підходи не виділяють пілотний запуск як окрему стадію життєвого циклу з власними decision gates, не формалізують перехід від пілота до масштабування і не охоплюють проблему стабілізації системи після go-live в умовах реального пасажиропотоку. Отже, системно-інженерні та lifecycle-орієнтовані підходи створюють необхідну основу для формалізації фаз, переходів і готовності, але потребують доповнення галузевими практиками впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспорті.

2.3 Галузеві практики впровадження транспортних платіжних систем

Третій аналітичний шар становлять галузеві документи, звіти міжнародних організацій та рецензовані дослідження, які безпосередньо стосуються практики впровадження безконтактної оплати в транспортних системах. На відміну від загальних PM-методологій та системно-інженерних рамок, ці джерела оперують конкретними транспортними контекстами, технологічними архітектурами та моделями управлінської координації (governance), що дає змогу виявити

емпіричні патерни, які не охоплюються попередніми двома аналітичними шарами.

UITP у звіті «Demystifying Ticketing and Payment in Public Transport» (2020) [1] систематизує типологію платіжних рішень у транспорті й виокремлює дві принципові архітектурні моделі: card-centric, де логіка тарифікації та право на поїздки зберігаються на фізичному носії, та account-based ticketing, де ця логіка переноситься в бек-офіс. Звіт наголошує, що перехід до АВТ є не просто технологічним оновленням, а зміною операційної моделі, яка потребує перебудови бізнес-процесів, переосмислення ролей стейкхолдерів і нового підходу до управління даними [1]. Цей висновок суттєвий для управління життєвим циклом: він означає, що проєкт впровадження АВТ-рішення не може управлятися як проста заміна обладнання, а є трансформаційним за характером.

Дорожня карта UITP з впровадження open-loop платежів (2024) [2] пропонує поетапну модель реалізації, яка включає три великі блоки: стратегічне планування і концептуальне проєктування (Strategic Vision and Concept Outline), побудову рішення та підготовку до запуску, запуск і подальший розвиток. Для першого блоку документ визначає сім ключових компонентів, серед яких – governance model, fare policy integration, technology architecture, stakeholder alignment і procurement strategy [2]. Ця модель фактично формує зародок lifecycle-підходу: вона визначає послідовність етапів і ключові елементи кожного з них. Водночас дорожня карта UITP не є формалізованою моделлю управління життєвим циклом у повному розумінні: вона не визначає decision gates між етапами, не формалізує критерії переходу від планування до побудови або від побудови до запуску і не пропонує механізмів управління ризиками, строками та вартістю на кожному етапі.

Дослідження Світового банку з оцінювання інтероперабельності AFC у Польщі [3] фіксує критичну складність інтеграції різних платіжних і тарифних систем у межах єдиної мережі. Звіт демонструє, що інтероперабельність потребує не лише технічної стандартизації, а й узгодження бізнес-правил між

операторами, створення організаційної структури для спільного governance і розробки механізмів розрахунків (settlement) між учасниками мережі [3]. Ці аспекти мають безпосередній вплив на управління життєвим циклом: фаза проектування повинна враховувати interoperability requirements, фаза інтеграції – передбачати тестування міжсистемної взаємодії, а фаза експлуатації – забезпечувати механізми розрахунків та вирішення спірних ситуацій.

Звіт PPIAF/EBRD «On the Move: Delivering Automated Fare Collection» (2017) [4] аналізує досвід запровадження AFC у країнах, що розвиваються, і приділяє особливу увагу питанням governance та розподілу ролей. Документ підкреслює, що визначення governance-моделі – хто є замовником, хто інтегратором, хто оператором системи, хто несе фінансові ризики – є одним із найбільш критичних рішень на ранніх етапах проекту [4]. Звіт також фіксує типову проблему: розподіл ролей часто є нечітким на етапі закупівлі й уточнюється лише в процесі реалізації, що створює ризики конфліктів, затримок і перевитрат. Для управління життєвим циклом це означає, що governance model повинна формалізуватися як один із ключових артефактів ранніх стадій проекту і підлягати перевірці як обов’язковий елемент readiness assessment.

Дослідження FTA «Mobility Payment Integration: State-of-the-Practice Scan» (2019) [5] охоплює досвід впровадження мобільних та інтегрованих платежів у транспортних системах США. Звіт виокремлює кілька ключових спостережень, релевантних для управління життєвим циклом. По-перше, він фіксує значну різноманітність підходів до впровадження: від повністю централізованих, із єдиним інтегратором, до децентралізованих, у межах яких кожен оператор обирає власне рішення. По-друге, звіт відзначає, що успішні впровадження, як правило, включають чітко виділену пілотну фазу, яка передуює масштабуванню [5]. По-третє, FTA підкреслює значущість equity – забезпечення доступності платіжних рішень для всіх категорій пасажирів, включаючи тих, хто не має банківських рахунків або смартфонів [5]. Ця фіксація equity як елемента проєктного планування є важливою для формування критеріїв готовності:

перехід до масштабування повинен включати перевірку доступності рішення для вразливих категорій користувачів.

IADB у звіті «Future of Fare Media in AFC Systems» (2020) [28] аналізує тенденції розвитку fare media та визначає, що сучасний напрям полягає у переході від closed-loop proprietary media до відкритих платіжних екосистем. Документ фіксує, що цей перехід створює нову парадигму управління, у якій транспортний оператор більше не контролює повністю платіжний інструмент і повинен будувати партнерства з банками, платіжними системами та технологічними провайдерами [28]. Це безпосередньо стосується управління життєвим циклом: в open-loop-архітектурі проєкт стає мультистейкхолдерним за своєю природою, і governance має передбачати механізми координації між організаціями з різними інтересами, часовими горизонтами та операційними вимогами.

Документ АРТА «Open Data and Open Loop Payments Standards for Transit» (2025) [29] систематизує наявні стандарти, пов'язані з open fare collection, open data та open-loop payments у громадському транспорті. У ньому підкреслюється значення інтероперабельності, безпеки даних, використання відкритих стандартів і прозорості для пасажирів. Для управління життєвим циклом це створює додатковий шар вимог, які мають бути враховані на стадії проєктування та перевірені на стадії валідації.

Серед рецензованих досліджень Pike та ін. (2024) [12] аналізують реальні виклики впровадження open-loop платежів у громадському транспорті та виявляють низку бар'єрів, серед яких – складність банківської інтеграції, необхідність адаптації тарифних правил до платіжних стандартів EMV, проблеми зі зворотними транзакціями (refunds) та управлінням винятковими ситуаціями. Дослідження Mucha та ін. (2020) [30] на прикладі АВТ-впровадження у пасажирському транспорті показує, що account-based підхід потребує суттєвого перегляду операційних процесів і не може бути впроваджений як «надбудова» над існуючою системою без зміни бізнес-

процесів. Gil i Vallejo (2024) [31] досліджують інтеграцію АВТ для забезпечення безшовної мультимодальної подорожі у smart cities і фіксують, що ключовою передумовою є узгодження тарифних правил, даних і governance між різними операторами та видами транспорту.

Звіт Світового банку та SSATP щодо інновацій у зборі плати за проїзд в африканських містах (2021) [32] висвітлює контексти з низьким рівнем фінансової інклюзії та показує, що впровадження цифрових платіжних рішень у таких умовах потребує спеціальних заходів забезпечення доступності – альтернативних каналів поповнення, спрощеної реєстрації, підтримки готівкових альтернатив. Borges i Sebé (2025) [33] досліджують електронну квиткову систему зі швидкою валідацією та показують, що сценарії з real-time обмеженнями, зокрема ticket validation, get-in і get-out, можуть виконуватися менш ніж за одну секунду [33]. Це підтверджує, що швидкість валідації є суттєвим технічним обмеженням, яке впливає на архітектурні рішення і має враховуватися на ранніх стадіях проектування.

Узагальнення галузевих практик дає змогу виокремити кілька патернів, релевантних для управління життєвим циклом. По-перше, практика послідовно підтверджує поетапність впровадження: планування, побудова, пілот, масштабування, експлуатація. По-друге, governance визнається критичним чинником успіху, причому ключовою є необхідність визначення governance-моделі на ранніх стадіях. По-третє, інтеграція – як технічна, так і організаційна – є постійним джерелом складності, що потребує спеціальних процесів управління. По-четверте, equity та інклюзивність дедалі частіше розглядаються як обов’язкові елементи проєктного планування, а не лише як зовнішні policy constraints.

Водночас галузеві практики мають суттєві обмеження як джерело управлінського знання. Вони переважно є дескриптивними: описують, що відбувалося, але не пропонують відтворюваної моделі управління життєвим циклом. Вони є case-specific: висновки, зроблені на основі досвіду Лондона або

Сіднея, не обов'язково переносяться на інші контексти. Значна частина рекомендацій походить від vendor-driven джерел або організацій, зацікавлених у просуванні конкретних технологічних рішень. Крім того, розглянуті галузеві джерела у сукупності не формують цілісної формалізованої моделі управління життєвим циклом із визначеними стадіями, decision gates, критеріями переходу, рольовою структурою та механізмами контролю. Саме ця прогалина формує потребу в синтетичному підході, який би поєднав управлінський каркас РМ-методологій, формальну lifecycle-логіку системно-інженерних підходів та емпіричні патерни галузевої практики.

2.4 Порівняльний аналіз і виявлення прогалин

Аналіз трьох інструментальних шарів – загальних РМ-методологій, системно-інженерних і lifecycle-орієнтованих підходів та галузевих практик – дає підстави для порівняльної оцінки їх покриття ключових критеріїв управління ЖЦ впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Для забезпечення систематичності порівняння визначено вісім критеріїв, що впливають зі специфіки проєкту, розкритої в розділі 1, та з дослідження трьох аналітичних шарів у цьому розділі.

Критерії порівняння включають: визначеність фаз ЖЦ, тобто наявність чіткої етапної структури від концепції до виведення з експлуатації; decision/readiness gates як формалізовані точки прийняття рішень з критеріями переходу; управління інтеграцією мультикомпонентних систем; мультистейкхолдерний governance, що охоплює розподіл ролей, відповідальності та повноважень між множинними учасниками; управління переходом від пілота до масштабування (pilot-to-scale); забезпечення експлуатаційної готовності (operational readiness); стабілізацію після запуску

(post-go-live stabilization); врахування equity та інклюзивності як елементів ЖЦ.

Результати порівняння подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна матриця покриття критеріїв управління ЖЦ впровадження безконтактної платіжної інфраструктури

Критерій	Загальні PM-методології (PMBOK 7/8, PRINCE2 7)	SE / Lifecycle / Stage-Gate (INCOSE, ISO 15288, Cooper)	Галузеві практики (UITP, WB, FTA, IADB)
Визначеність фаз ЖЦ	Часткове. Визнають ЖЦ, але не деталізують стадії для інфраструктурних проєктів	Високе. Формалізовані стадії від концепції до виведення	Часткове. Емпірична поетапність, але без формалізації
Decision / readiness gates	Часткове. PRINCE2 має stage gates, але організаційні, не технічні	Високе. Decision gates, TRL/SRL, readiness reviews	Відсутнє. Немає формальних gates; описані лише «кроки»
Управління інтеграцією мультикомпонентних систем	Відсутнє. Немає спеціальних механізмів	Високе. Interface management, integration testing	Часткове. Описи інтеграції, але без формалізованих процесів
Мульти-стейкхолдерний governance	Часткове. Stakeholder management як загальна практика	Часткове. Зосереджено на одній організації	Часткове. Визнають проблему, але без формальної моделі
Pilot-to-scale transition	Відсутнє. Не формалізовано	Відсутнє. Не виділено як окрему проблему	Часткове. Практика поетапного rollout, але без gate criteria
Operational readiness	Відсутнє як окремий механізм	Високе. Operational transition, readiness reviews	Часткове. Визнають важливість, описи fragmentary
Post-go-live stabilization	Відсутнє. Проєкт завершується delivery	Часткове. Transition to operations, але не окрема фаза	Відсутнє як формалізована фаза
Equity / інклюзивність	Відсутнє	Відсутнє	Часткове. FTA, WB/SSATP фіксують як вимогу

Аналіз таблиці 2.1 дає змогу зробити кілька ключових спостережень. Жоден з розглянутих підходів не забезпечує одночасного покриття всіх восьми критеріїв. Загальні PM-методології дають найширший організаційний каркас,

але мають найбільше прогалин саме в тих аспектах, які є найбільш специфічними для транспортного платіжного впровадження: інтеграція, pilot-to-scale, operational readiness, стабілізація після запуску та equity. Системно-інженерні й lifecycle-орієнтовані підходи демонструють найсильніше покриття формальних аспектів – фаз ЖЦ, decision gates, інтеграції та operational readiness, – але залишаються предметно-нейтральними і не повністю охоплюють мультистейкхолдерну специфіку та перехід від пілота до масштабування. Галузеві практики містять найбільш предметно-специфічне знання, але переважно на описовому рівні, без формалізації у вигляді цілісної управлінської моделі.

На підставі проведеного порівняння можна ідентифікувати п'ять основних дослідницьких прогалин (research gaps), які не покриваються жодним із розглянутих підходів достатньою мірою.

Перша прогалина – відсутність формалізованої моделі ЖЦ, адаптованої до специфіки транспортного платіжного впровадження. Існуючі моделі або є занадто загальними (PMBOK, PRINCE2), або предметно-нейтральними (INCOSE, ISO 15288), або дескриптивними (UITP, World Bank). Жодна з них не визначає конкретних стадій ЖЦ для цього класу проєктів з урахуванням інтеграційної, інфраструктурної та трансформаційної природи впровадження.

Друга прогалина – відсутність формалізованих критеріїв переходу між фазами (readiness criteria), адаптованих до транспортного платіжного контексту. Системно-інженерні підходи пропонують загальну логіку decision gates і readiness assessment, але не визначають, які саме критерії мають перевірятися при переході від концепції до проєктування, від проєктування до побудови, від побудови до пілота, від пілота до масштабування. Галузеві практики фіксують окремі елементи таких критеріїв, зокрема допустимий час валідації, EMV-сертифікацію, тарифну інтеграцію, експлуатаційну готовність і доступність для пасажирів, але не зводять їх у систему.

Третя прогалина – неформалізованість переходу від пілота до

масштабування (pilot-to-scale gap). Практика транспортних впроваджень свідчить, що успішний пілот не гарантує успішного масштабування: при масштабуванні різко зростають навантаження на бек-офіс, ускладнюється координація стейкхолдерів, виникають нові інтеграційні та сервісні виклики [5, 12]. Жодна з розглянутих моделей не виділяє pilot-to-scale як окрему стадію або перехід з власними decision gates і критеріями готовності.

Четверта прогалина – відсутність формалізації стабілізаційного періоду після go-live. Системно-інженерні підходи визнають transition to operations, але не виділяють стабілізацію як окрему фазу з власними процесами та критеріями завершення. Проте досвід впровадження складних ІТ-систем свідчить, що перші місяці після повномасштабного запуску є критичним періодом, протягом якого виявляються приховані дефекти інтеграції, аномалії поведінки в реальних умовах і проблеми, які не були ідентифіковані під час тестування [8, 27].

П'ята прогалина – відсутність спеціалізованої моделі мультистейкхолдерного governance для транспортних платіжних проєктів. РМ-методології пропонують загальні інструменти stakeholder management, але не охоплюють специфічну конфігурацію, у якій транспортний оператор, регулятор, банки-еквайєри, платіжні системи, інтегратори та постачальники обладнання мають різні, а часом конкуруючі інтереси, різні часові горизонти і різні вимоги до governance [4, 28, 31].

Важливо зазначити, що ідентифікація зазначених прогалин є результатом аналітичного синтезу, а не прямим цитуванням окремого джерела. Кожна з прогалин виведена на підставі зіставлення того, що пропонують розглянуті підходи, з тим, чого потребує управління ЖЦ транспортного платіжного впровадження. Прогалини не означають, що розглянуті підходи є неефективними; вони означають, що жоден із них окремо або їх механічне поєднання не утворює достатньо повної та адаптованої моделі для управління ЖЦ цього класу проєктів. Логіка виявлених прогалин подана на рисунку 2.1.

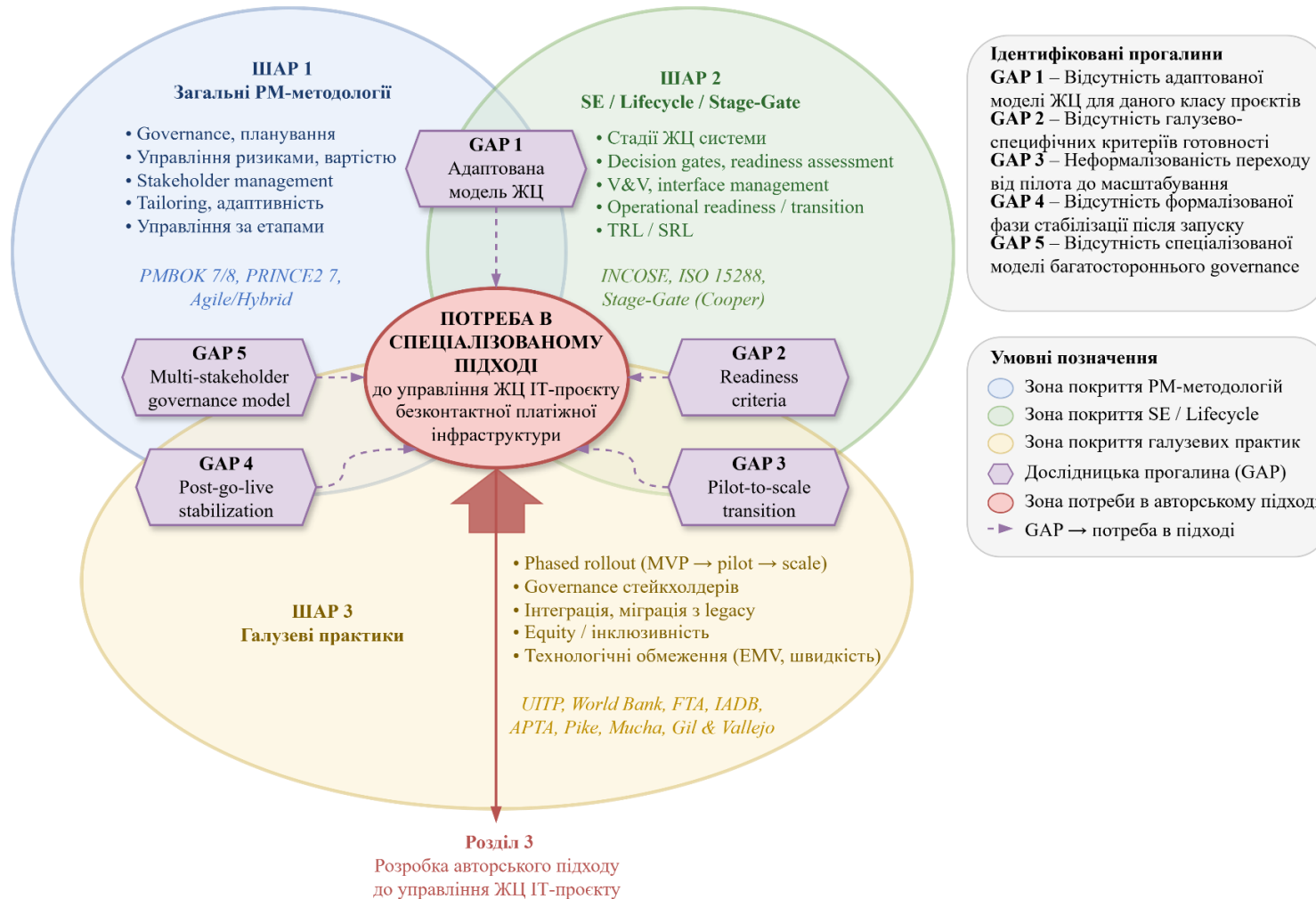


Рисунок 2.1 – Карта дослідницьких прогалин у підходах до управління ЖЦ ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах

П'ять зафіксованих вище дослідницьких прогалин становлять основний дослідницький каркас роботи. Водночас у процесі формування вимог до спеціалізованої методології виокремлюються також наскрізні управлінські виміри, які деталізують ці прогалини для досліджуваного класу проєктів і відображають специфічні джерела ризику, не покриті традиційними РМ-методологіями: зовнішні залежності, зокрема банки-еквайєри, платіжні схеми, регулятори та постачальники сертифікаційних послуг; соціально-тарифна рівновага (equity); кіберстійкість як continuous operating capability; мультистейкхолдерний і федеративний governance. Ці виміри не утворюють окремих предметів дослідження, але є необхідними елементами повноти методології RG-HLM, оскільки забезпечують зв'язок між виявленими прогалинами, вимогами до методології та її подальшою структурою.

2.5 Формування вимог до спеціалізованої методології

Виявлені в підрозділі 2.4 прогалини логічно трансформуються у систему вимог до спеціалізованої методології RG-HLM. Такі вимоги мають не лише фіксувати бажані властивості методології, а й визначати управлінські механізми, необхідні для забезпечення керованості життєвого циклу ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Їх формування спирається на поєднання трьох джерел: прогалин, виявлених у порівняльному аналізі; корисних елементів загальних РМ-методологій і системно-інженерних підходів; емпіричних патернів галузевої практики.

Насамперед методологія має визначати спеціалізовану етапну структуру ЖЦ, адаптовану до специфіки транспортного платіжного впровадження. Така структура повинна охоплювати повний цикл від ініціації та концептуального

аналізу через проектування, побудову, інтеграцію, пілотний запуск, масштабування і стабілізацію до зрілої експлуатації та потенційного виведення з експлуатації. За своєю логікою ця вимога спирається на системно-інженерне розуміння життєвого циклу, представлене в INCOSE та ISO 15288, однак потребує конкретизації відповідно до транспортного платіжного контексту. Її необхідність зумовлена тим, що жодна з розглянутих моделей не пропонує адаптованої етапної структури саме для цього класу проєктів.

Другою принциповою вимогою є формалізація критеріїв переходу між фазами у вигляді *readiness gates* з набором предметно-специфічних метрик. Такі критерії мають охоплювати як технічні аспекти – допустимий час валідації, EMV-сертифікацію, інтеграцію з тарифною системою, міжсистемну інтероперабельність, – так і організаційні аспекти – визначеність *governance*-моделі, готовність операційного персоналу, наявність сервісних механізмів і забезпечення *equity*. Ця вимога пов’язана з другою дослідницькою прогалиною та спирається на позитивний досвід системно-інженерних підходів щодо *decision gates* і *readiness assessment* [8, 24].

Окремого управлінського значення набуває перехід від пілота до масштабування. Методологія повинна розглядати *pilot-to-scale* не як автоматичне збільшення обсягу впровадження, а як окремий керований перехід із власними критеріями, процесами та ризиками. Масштабування передбачає зростання навантаження на бек-офіс, розширення інфраструктури, ускладнення координації стейкхолдерів, адаптацію сервісних процесів і підключення нових учасників [1, 5]. Тому цей перехід має бути формалізований як самостійна управлінська зона, а не залишатися неявним наслідком успішного пілота.

Наступна вимога стосується постзапускової стабілізації. Методологія має передбачати стабілізаційну фазу після повномасштабного запуску як повноправний елемент ЖЦ із визначеними процесами моніторингу, реагування на інциденти, доопрацювання, аналізу відхилень і критеріями завершення стабілізації. Хоча розглянуті джерела не визначають стабілізацію як окрему

формалізовану фазу ЖЦ транспортного впровадження, системно-інженерна логіка operational transition [8, 27] та практика складних ІТ-впроваджень свідчать про критичність перших місяців після запуску. Саме в цей період можуть проявлятися приховані інтеграційні дефекти, аномалії поведінки системи в реальному середовищі та недоліки сервісних процедур.

Важливою вимогою є також наявність спеціалізованої моделі мультистейкхолдерного governance. Методологія повинна визначати ролі, відповідальність, повноваження та механізми координації для типових учасників транспортного платіжного впровадження: транспортного оператора або транспортного органу, регулятора, банків та платіжних систем, інтегратора, постачальників обладнання і програмного забезпечення. Governance-модель має формуватися на ранніх стадіях проєкту та перевірятися як один із елементів readiness criteria, оскільки нечіткий розподіл ролей і відповідальності є одним із джерел затримок, конфліктів і перевитрат [4, 28].

Ще однією вимогою є інтеграція управління інтеграцією як наскрізного процесу, що охоплює всі стадії ЖЦ. На ранніх етапах це передбачає визначення інтеграційних вимог, інтерфейсів і зовнішніх залежностей; на етапах побудови та пілотування – перевірку міжсистемної взаємодії; на етапах масштабування та експлуатації – моніторинг інтеграційної стійкості й контроль впливу змін на суміжні контури. Така вимога випливає з того, що системно-інженерні підходи пропонують interface management переважно на загальному рівні, тоді як галузеві практики фіксують інтеграційну складність без достатньої формалізації процесів [3, 12].

Останньою з ключових вимог є включення equity та інклюзивності до системи критеріїв готовності. Для транспортного платіжного впровадження соціальна доступність не може залишатися зовнішнім policy constraint, оскільки платіжна інфраструктура безпосередньо впливає на доступ пасажирів до мобільності. Тому readiness gate перед масштабуванням має включати перевірку доступності рішення для вразливих категорій пасажирів, зокрема користувачів

без банківських рахунків, смартфонів або стабільного доступу до цифрових сервісів [5, 32]. Це дає змогу розглядати equity не як додаткову соціальну умову, а як повноцінний елемент управління життєвим циклом транспортного платіжного проєкту.

Відображення зв'язку між виявленими прогалинами та сформованими вимогами подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Відображення «дослідницька прогалина – вимога до авторського підходу»

Прогалина	Суть	Вимога до підходу	Ключові джерельні підстави
GAP 1. Адаптована модель ЖЦ	Немає етапної структури, адаптованої до транспортного платіжного впровадження	B1. Визначити спеціалізовану етапну структуру ЖЦ	INCOSE [8], ISO 15288 [24], UITP [1, 2], авторський синтез
GAP 2. Readiness criteria	Немає галузево-специфічних критеріїв переходу між фазами	B2. Формалізувати readiness gates з предметними метриками	INCOSE [8], ISO 15288 [24], Borges & Seb� [33]
GAP 3. Pilot-to-scale	Перехід від пілота до масштабування не формалізований	B3. Виділити pilot-to-scale як окрему стадію / перехід	FTA [5], Pike et al. [12], авторський синтез
GAP 4. Stabilization	Стабілізація після go-live не виділена як фаза ЖЦ	B4. Передбачити стабілізаційну фазу з власними процесами	INCOSE [8], FTA [27], авторський синтез
GAP 5. Multi-stakeholder governance	Немає спеціалізованої governance-моделі для мульти-стейкхолдерного контексту	B5. Визначити рольову модель та governance для типових учасників	PPIAF/EBRD [4], IADB [28], Gil & Vallejo [31]
(наскрізна) Інтеграція	Інтеграція мультикомпонентних систем не формалізована як наскрізний процес	B6. Інтегрувати interface management у всі стадії ЖЦ	World Bank [3], INCOSE [8], Pike et al. [12]
(наскрізна) Equity	Equity не вбудована в lifecycle governance	B7. Включити equity у readiness criteria	FTA [5], WB/SSATP [32]

Сформована система вимог має кілька суттєвих характеристик. По-перше, вона є не довільним набором побажань, а логічним наслідком виявлених дослідницьких прогалин. По-друге, вона поєднує позитивні елементи розглянутих підходів: етапна структура спирається на системно-інженерну логіку INCOSE та ISO 15288, readiness gates – на decision gate logic Stage-Gate та ISO 15288, governance – на РМ-каркас PMBOK і PRINCE2 із доповненням галузевою специфікою. По-третє, вимоги орієнтовані на практичну застосовність, оскільки визначають конкретні механізми, які має містити методологія RG-HLM для забезпечення керованості проєкту на кожній стадії його ЖЦ.

Отже, сформовані вимоги фіксують перехід від аналізу існуючих підходів до обґрунтування спеціалізованої методології RG-HLM. Вони визначають, які саме функції, етапи, критерії та механізми має містити методологія для управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. За результатами порівняльного аналізу обґрунтовано потребу в методології, яка поєднує governance-каркас РМ-методологій, lifecycle-логіку системно-інженерних підходів та емпіричні патерни галузевої практики у модель, адаптовану до досліджуваного класу проєктів.

3 РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ RG-HLM ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ІТ-ПРОЄКТУ ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗКОНТАКТНОЇ ПЛАТІЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

3.1 Концептуальні засади та позиціонування методології RG-HLM

На основі попередньо виявлених дослідницьких прогалин та сформованого переліку вимог до спеціалізованого управлінського підходу запропоновано методологію RG-HLM, призначену для управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Методологія розроблена як domain-specific extension, що доповнює, але не заміщує чинні стандарти управління проєктами PMBOK 7/8 [7, 20], PRINCE2 7 [21], системно-інженерну рамку ISO/IEC/IEEE 15288 [24] та керівні принципи INCOSE Systems Engineering Handbook [8], а також узгоджується з галузевими дорожніми картами UITP [1, 2, 34], Всесвітнього банку [3, 35, 36] і FTA [5, 13, 27].

Концептуально RG-HLM позиціонується саме як методологія, а не як модель, фреймворк чи довідник практик. Таке позиціонування має не лише термінологічне, а й методологічне значення, оскільки модель описує структурний бік явища, фреймворк визначає набір інструментів, а метод задає процедурну послідовність дій. Методологія об'єднує всі ці рівні в єдину конструкцію: принципи, фазовий каркас, gate-критерії, артефакти та формальний механізм адаптації до контексту проєкту. Саме тому RG-HLM доцільно розглядати як методологію, що поєднує структурний, процедурний та інструментальний рівні управління життєвим циклом проєкту.

Другою принциповою характеристикою RG-HLM є методологічна єдність. RG-HLM не розшаровується на окремі моделі для різних класів проєктів. Усі форми застосування – від невеликого впровадження на основі готового рамкового рішення до мультиоператорного федеративного проєкту –

розглядаються як конфігурації однієї методології. Така архітектурна позиція зменшує фрагментацію знань, дублювання артефактів і втрату управлінської траєкторії при зміні масштабу проєкту, що є типовим ризиком фрагментованих галузевих підходів [10, 37, 38].

Методологія RG-HLM спирається на вісім базових принципів, інваріантних щодо конкретної конфігурації. Принципи виконують функцію концептуального фільтра: будь-яке рішення на рівні конфігурації, артефактів або gate-критеріїв має бути сумісним з усіма вісьмома принципами одночасно. Перелік базових принципів та їх зміст наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Базові принципи методології RG-HLM

№	Принцип	Зміст
1	Configurational equifinality	Для одного класу проєктів існує множина працездатних шляхів реалізації; вибір конкретного шляху обумовлений контекстом проєкту, а не зовнішнім приписом.
2	Readiness-gated progression	Перехід між фазами життєвого циклу здійснюється виключно після демонстрації виконаних gate-критеріїв; календарний строк не є самостійною підставою для переходу.
3	Domain Floor Rule	Готовність проєкту оцінюється некомпенсаторно: низький рівень за критичним доменом не може бути компенсований високим рівнем за іншими доменами.
4	Calibration over thresholds	Числові пороги не є універсальними константами методології; вони задаються конфігурацією і фіксуються в Calibration Log конкретного проєкту.
5	Time-boxed gate decisions	Кожен gate review має фіксований час прийняття рішення; за вичерпанням часового вікна обирається одне з визначених рішень без можливості безстрокового відкладення.
6	Manipulation-resistant weighting	Ваги критеріїв готовності формуються через експертно-орієнтовану AHP/Delphi-based процедуру з фіксацією через Weight Freeze і реєстрацією Metric Gaming Incidents.
7	Continuous learning	Після кожного gate decision і за результатами інцидентів параметри та артефакти методології уточнюються через механізм зворотного зв'язку; процес фіксується в Calibration Log.
8	Multi-stakeholder federated governance	Для проєктів з кількома операторами або регуляторами застосовується модель Interagency Decision Board з Federated Gate Alignment Protocol; рішення документуються в Unified Gate Decision Log.

Окремо підкреслюється принцип Calibration Log Principle, що впливає з четвертого принципу. Методологія RG-HLM не задає універсальних числових констант для порогових значень Readiness Synthesis Index, частки транзакцій з помилками, тривалості Hupercare, тривалості Phase 0, latency, availability, порогу кризового скорочення бюджету або тривалості контрактної залежності. Такі параметри визначаються для конкретного проєкту і фіксуються в Calibration Log на підставі контексту, експертного узгодження стейкхолдерів і формалізованої процедури багатокритеріального калібрування. Використання типових порогових значень поза Calibration Log знижує відтворюваність застосування методології і не відповідає логіці застосування RG-HLM.

Для уникнення термінологічної неоднозначності в роботі фіксуються значення ключових термінів методології, які використовуються в подальшому описі методології, демонстраційній апробації та управлінських артефактах, винесених у додатки. Ключові терміни наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Ключові терміни методології RG-HLM

Термін	Значення
RG-HLM	Уніфікована методологічна конструкція принципів, інваріантного фазового каркаса, gate-критеріїв, артефактів і механізмів адаптації для управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури.
Конфігурація	Підмножина елементів методології (фази, gate-критерії, артефакти, ролі), активована Configuration Engine для конкретного проєкту: Micro, Base, Extended, Federated.
Module set	Тематичний набір додаткових артефактів і критеріїв, що активуються за певних характеристик контексту: Brown-field, Crisis, Equity-heavy, Cyber-critical, Political/Fiscal.
Gate	Точка прийняття рішення про перехід між фазами життєвого циклу на підставі вимірних gate-критеріїв; має фіксований time-box.
Calibration Log	Артефакт, що фіксує всі числові параметри методології (порогові значення, ваги критеріїв, тривалість фаз) для конкретного проєкту разом із обґрунтуванням.
Transport Context Score (TCS)	Структурований діагностичний інструмент контексту проєкту: 14 параметрів у 4 категоріях; вхідний профіль для Configuration Engine.

Кінець таблиці 3.2

Термін	Значення
Vector Readiness Profile (VRP)	Векторна оцінка готовності проєкту за вісьмома доменами; основний об'єкт аналізу на gate review.
Domain Floor	Мінімальний рівень готовності за окремим доменом, нижче якого проєкт не може перейти в наступну фазу незалежно від агрегованого Readiness Synthesis Index.

Методологія RG-HLM розроблена для управління життєвим циклом ІТ-проєктів впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в наземному міському громадському транспорті (автобусних, тролейбусних, трамвайних, легкорейкових і метрополітенових системах) та регіональному залізничному сполученні в межах єдиної тарифної зони. RG-HLM охоплює впровадження open-loop / EMV-рішень і Account-Based Ticketing (ABT) на рівні окремого оператора або мультиоператорної федеративної системи [30, 31, 39, 40].

Поза межами застосовності методології залишаються проєкти, які не мають характеристик інтеграційного транспортного платіжного впровадження: суто програмні розробницькі проєкти без інфраструктурних залежностей; проєкти закритих платіжних систем без open-loop або ABT-компонента; платіжні системи поза транспортним контекстом; проєкти з єдиним постачальником повного циклу без потреби в мультистейкхолдерній координації. Технологічні дослідження носіїв оплати EMV/NFC розглядаються в роботі лише як технологічний контекст, але не як предмет управління.

RG-HLM розглядається як науково обґрунтована методологічна конструкція, застосовність якої доцільно перевіряти через сценарну апробацію, ретроспективне зіставлення з наявними галузевими впровадженнями та подальше емпіричне калібрування на реальних проєктах. Доцільними напрямками подальшої валідації є зіставлення RG-HLM з кейсами Modernising myki [41], MBTA AFC 2.0 [16] і Bee Network [42], а також прикладне уточнення параметрів Calibration Log на пілотних проєктах.

3.2 Архітектура та конфігураційна логіка RG-HLM

Принцип конфігураційної універсальності розгортається через семирівневу архітектуру методології та набір конфігурацій з відповідними *module sets*, що адаптують методологію до контексту конкретного проєкту. Такий підхід дає змогу зберегти єдність методології як методологічного артефакта і водночас забезпечити застосовність RG-HLM до різних масштабів та організаційних конфігурацій транспортного платіжного впровадження.

Концептуальною основою конфігураційного підходу є теза про еквіфінальність організаційного дизайну [43], згідно з якою для одного класу організаційних завдань існує множина працездатних структурних конфігурацій. Логіка побудови методології з повторно використовуваних фрагментів спирається на традицію *Situational Method Engineering* [44]. Контекстна адаптація RG-HLM узгоджується з практикою *tailoring*, закріпленою в *PMBOK 7* [7], однак розвиває зазначену логіку до рівня формалізованого механізму конфігурування на основі вимірних характеристик контексту.

Архітектура RG-HLM складається з семи концептуальних шарів. Інваріантними (незмінними в усіх конфігураціях) є шари *Principles*, *Lifecycle Core* та *Continuous Learning & Calibration*. Адаптивними є шари *Transport Context Score*, *Configuration Engine*, *Gates & Metrics Layer* та *Module Library* – наповнення цих шарів визначається контекстом проєкту. Узагальнену семирівневу архітектуру RG-HLM подано на рисунку 3.1.

Семирівнева архітектура методології RG-HLM

з внутрішніми компонентами шарів та інформаційними потоками

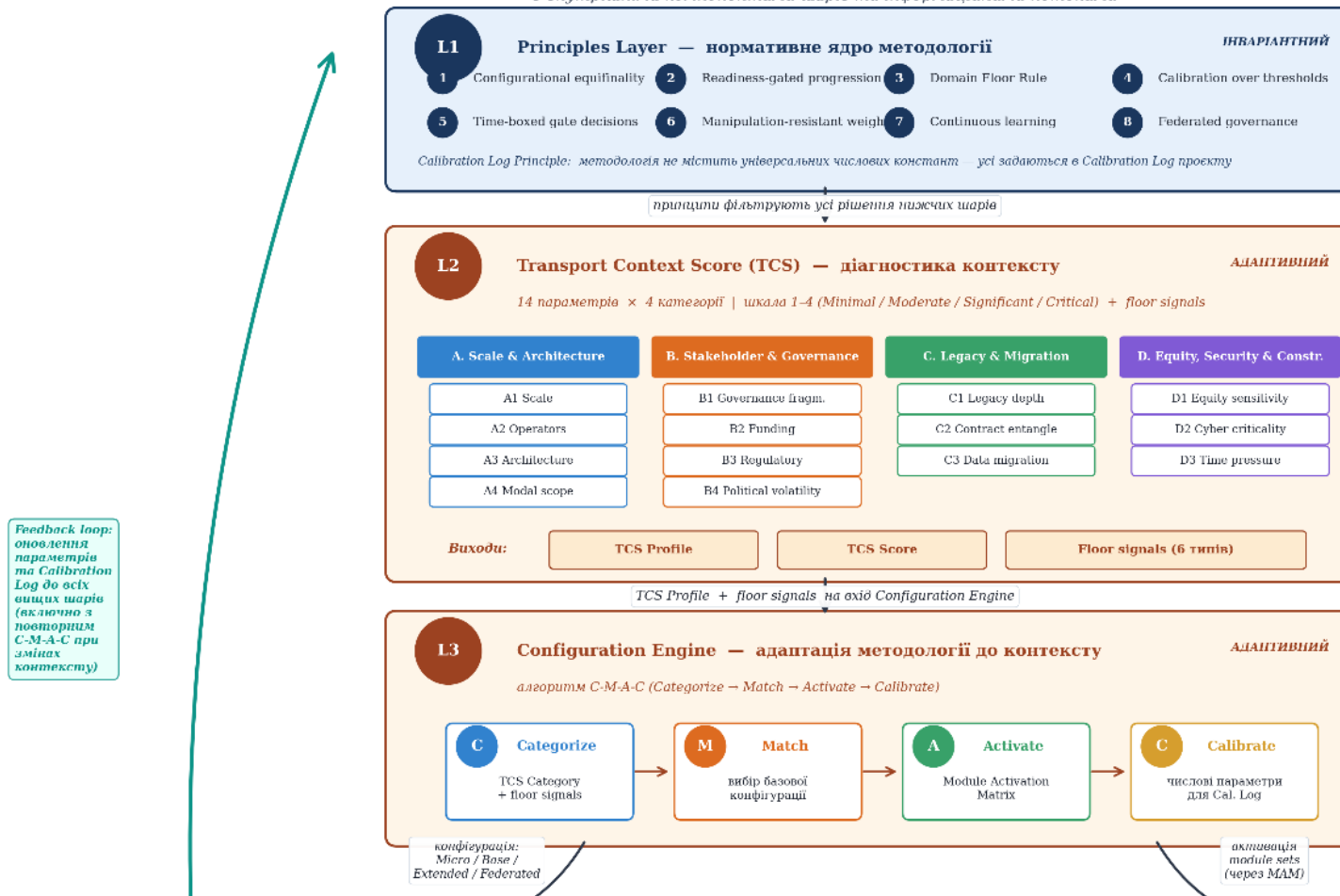


Рисунок 3.1 – Семирівнева архітектура методології RG-HLM

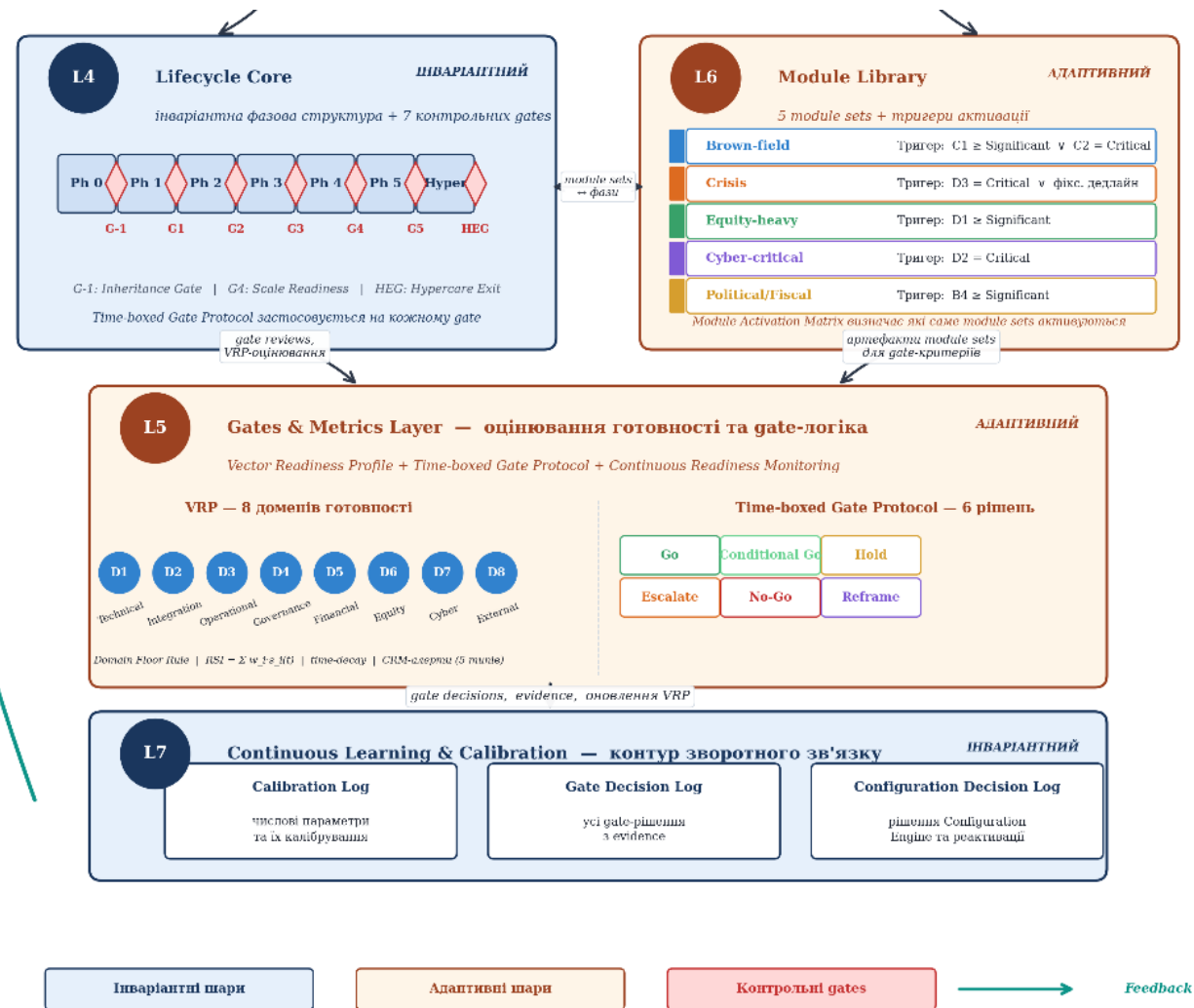


Рисунок 3.1, аркуш 2

Рисунок 3.1 ілюструє вертикальний стек із семи шарів: Principles Layer забезпечує концептуальний фільтр; Transport Context Score формує діагностичний профіль проєкту; Configuration Engine перетворює профіль на конфігурацію через алгоритм C-M-A-C; Lifecycle Core задає фазову структуру; Gates & Metrics Layer реалізує контроль готовності; Module Library містить тематичні набори модулів; Continuous Learning & Calibration підтримує оновлення параметрів. Інваріантні шари виділяються візуально, що підкреслює єдність методології незалежно від конфігурації.

Перший шар – Principles Layer – містить вісім базових принципів методології (таблиця 3.1). Жодна конфігурація не може відмінити або послабити базові принципи, а може лише уточнити форму їх практичного застосування. Усі рішення на нижчих шарах архітектури мають бути сумісними з принципами одночасно.

Другий шар – Transport Context Score (TCS) – забезпечує формалізовану діагностику контексту проєкту та подається у вигляді структурованого профілю з чотирнадцяти параметрів, об'єднаних у чотири категорії. TCS Profile виконує роль вхідної точки для Configuration Engine.

Третій шар – Configuration Engine – є механізмом перетворення TCS Profile у конкретну конфігурацію методології. Його логіка складається з чотирьох послідовних кроків: Categorize, Match, Activate і Calibrate. Завдяки цьому конфігурування не є довільним рішенням, а має формалізовану та відтворювану логіку.

Четвертий шар – Lifecycle Core – задає інваріантну фазову структуру: Phase 0 (Inheritance Audit), Phase 1 (Strategic Initiation), Phase 2 (Architecture & Procurement), Phase 3 (Build & Lab Test), Phase 4 (Pilot), Phase 5 (Scale Rollout) та Hypercare. Між фазами розташовані контрольні gates: Gate -1, Gate 1, Gate 2, Gate 3, Gate 4 (Scale Readiness Gate), Gate 5 та Hypercare Exit Gate, відокремлений від Gate 5.

П'ятий шар – Gates & Metrics Layer – об'єднує механізми оцінювання

готовності проєкту до переходу між фазами: Vector Readiness Profile, Domain Floor Rule, експертно-орієнтований протокол визначення ваг, Continuous Readiness Monitoring та Time-boxed Gate Protocol з визначеним набором рішень.

Шостий шар – Module Library – є каталогом тематичних наборів модулів, які активуються додатково до базової конфігурації: Brown-field, Crisis, Equity-heavy, Cyber-critical, Political/Fiscal. Активація module sets не змінює фазову структуру методології, а доповнює її необхідними артефактами, критеріями та управлінськими механізмами.

Сьомий шар – Continuous Learning & Calibration – забезпечує оновлення параметрів методології на основі ретроспективного аналізу gate decisions, інцидентів, відхилень та зовнішніх змін. На рівні окремого проєкту цей механізм реалізується через Calibration Log. На рівні організації, що використовує методологію в кількох проєктах, результати можуть агрегуватися через Calibration Repository.

Базові конфігурації методології відповідають типовим класам транспортних платіжних впроваджень і визначають спосіб застосування єдиного методологічного каркаса до різних проєктних контекстів. Конкретний проєкт асоціюється з однією базовою конфігурацією через Configuration Engine, після чого за потреби додатково активуються релевантні module sets. Базові конфігурації методології RG-HLM подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Базові конфігурації методології RG-HLM

Конфігурація	Цільовий клас проєктів	Ключові особливості
Micro	Малі агентства (1–3 оператори, до 100 транспортних засобів), переважно framework-based впровадження на основі вже наявної регіональної інфраструктури.	Скорочений Lifecycle Core, об'єднані домени VRP, мінімальна Module Library.
Base	Середні муніципальні оператори (один транспортний оператор і один транспортний орган, ~100–500 транспортних засобів), окреме впровадження.	Повний Lifecycle Core, повний Vector Readiness Profile, селективна Module Library.

Кінець таблиці 3.3

Конфігурація	Цільовий клас проєктів	Ключові особливості
Extended	Великі регіональні системи (декілька операторів у межах однієї агломерації, координовані єдиним РТА).	Повний Lifecycle Core з федеративними елементами Phase 0 (cross-operator Inheritance Audit) та Gate 5 (синхронізація між операторами).
Federated	Мультиагентські федеративні системи (кілька регіонів, штатів або країн з автономними операторами та регуляторами).	Повний Lifecycle Core, Federated Governance Model, Federated Gate Alignment Protocol, Unified Gate Decision Log.

Незалежно від обраної базової конфігурації проєкт може потребувати додаткових артефактів, критеріїв або управлінських механізмів, зумовлених специфічними характеристиками контексту. RG-HLM визначає п'ять module sets, кожен з яких активується автономно через Module Activation Matrix на основі значень TCS Profile. На відміну від базової конфігурації, module set не змінює загальну фазову структуру методології, а доповнює її предметно-специфічними елементами. Перелік module sets подано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Module sets методології RG-HLM

Module set	Тригер активації	Додаткові артефакти
Brown-field	Наявність legacy-систем, які не можуть бути замінені одночасно: контрактні зобов'язання, успадковані back-office, технологічні залежності.	Strangler Fig migration plan [45], Legacy Risk Register, Contract Escape Map, поетапний Inheritance Audit Checklist.
Crisis	Обмежена тривалість впровадження (фіксований дедлайн із зовнішнього джерела) або фіскальний шок, що призводить до скорочення бюджету проєкту.	Scope Reprioritization Matrix, прискорений Time-boxed Gate Protocol, спрощений Pilot Evidence Package.

Кінець таблиці 3.4

Module set	Тригер активації	Додаткові артефакти
Equity-heavy	Значна частка unbanked/underbanked пасажирів, регуляторна вимога збереження готівкових альтернатив, підвищена соціальна чутливість тарифної політики [11, 12, 15, 46–49].	Equity Access Score (EAS), Revenue Leakage Risk Index (RLRI), Dual Architecture Pattern, Anti-Evasion KPI Set, Fare Justice Loop.
Cyber-critical	Класифікація системи як критичної інфраструктури, регуляторні вимоги до кібербезпеки понад базові PCI DSS [50], висока цінність акумульованих даних [51, 52].	Cyber Incident Escalation Protocol, Evidence Renewal Schedule, розширений журнал відповідності NIST CSF / Transit Profile
Political/Fiscal	Високі ризики політико-фіскальної нестабільності: зміна керівництва, тарифної політики, скорочення бюджету, поява політичних вимог до архітектури рішення.	Political/Fiscal Shock Register, Scope Reprioritization Matrix, Stakeholder Recommitment Protocol.

Базова конфігурація визначає загальний профіль застосування RG-HLM, тоді як module sets додають тематичні механізми для роботи з legacy-залежностями, кризовими обмеженнями, equity-ризиками, кіберкритичністю та політико-фіскальною нестабільністю. Завдяки цьому методологія не втрачає єдиного фазового ядра, але отримує достатню гнучкість для різних умов впровадження.

Для запобігання термінологічній неоднозначності в RG-HLM фіксується чітке розрізнення між трьома близькими, але нетотожними поняттями: конфігурація, module set і gate. Конфігурація визначає профіль застосування методології в цілому: глибину опрацювання фаз, склад артефактів, розподіл ролей, рівень деталізації управлінських процедур. Module set є додатковим тематичним пакетом, що активується через Module Activation Matrix у відповідь на специфічні характеристики TCS Profile. На відміну від конфігурації, module

set не змінює фазову структуру і не формує окремий клас методології. Gate є точкою прийняття рішення між фазами Lifecycle Core з визначеним набором критеріїв готовності. Контрольні gate-точки належать до інваріантного шару методології і не можуть довільно додаватися або переставлятися конфігурацією. Таке розмежування забезпечує методологічну єдність RG-HLM та водночас підтримує адаптацію до різних контекстів транспортних платіжних впроваджень.

3.3 Transport Context Score та Configuration Engine

Адаптація методології до контексту конкретного проєкту є однією з ключових вимог до спеціалізованого підходу управління життєвим циклом транспортного платіжного IT-проєкту. У RG-HLM ця функція реалізована через два пов'язані інструменти: TCS як засіб діагностики контексту та Configuration Engine як механізм перетворення TCS Profile на конфігурацію методології. Подібний підхід узгоджується з логікою readiness-gated управління інженерними та інфраструктурними проєктами, представленою в практиках FTA [13, 27] та VDOT Project Pipeline [53], але деталізує її до рівня формалізованого конфігураційного механізму.

Transport Context Score є структурованим діагностичним інструментом, що формалізує контекст проєкту у відтворюваній формі. TCS складається з чотирнадцяти параметрів, об'єднаних у чотири категорії: A – Scale & Architecture, B – Stakeholder & Governance, C – Legacy & Migration, D – Equity, Security & Constraints. Категорії побудовано за принципом ортогональності: кожна описує самостійний вимір складності транспортного платіжного впровадження. TCS Profile виконує дві функції – дескриптивну (систематизує контекст у відтворюваній формі) та прескриптивну (є вхідним профілем для Configuration Engine). Параметри TCS подано в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри Transport Context Score

Категорія	Параметр	Що оцінюється
A – Scale & Architecture	A1 Scale of operation	Кількість транспортних засобів, добовий пасажиропотік, кількість точок продажу і валідації.
A – Scale & Architecture	A2 Number of operators	Кількість незалежних транспортних операторів у межах єдиної тарифної зони.
A – Scale & Architecture	A3 Architectural complexity	Від turnkey-постачання одного постачальника до multi-vendor stack або SaaS/framework-based впровадження.
A – Scale & Architecture	A4 Modal scope	Кількість і типи транспортних мод; вимоги до multimodal interoperability.
B – Stakeholder & Governance	B1 Governance fragmentation	Кількість незалежних центрів прийняття рішень і ступінь їх інституційної автономії.
B – Stakeholder & Governance	B2 Funding structure	Одне чи кілька джерел фінансування з різними циклами та умовами.
B – Stakeholder & Governance	B3 Regulatory intensity	Від локального рівня оператора до наднаціонального регулювання (фінансового і транспортного).
B – Stakeholder & Governance	B4 Political volatility	Імовірність зміни тарифної політики, керівництва, бюджету протягом життєвого циклу проєкту.
C – Legacy & Migration	C1 Legacy system depth	Від відсутності legacy до повного успадкованого середовища, що потребує співіснування.
C – Legacy & Migration	C2 Contract entanglement	Ступінь пов'язаності з чинними контрактами; vendor lock-in, exit costs, юридичні обмеження.
C – Legacy & Migration	C3 Data migration scope	Обсяг і чутливість даних, що підлягають міграції (транзакційні, персональні, тарифні дані).
D – Equity, Security & Constraints	D1 Equity sensitivity	Частка unbanked/underbanked пасажирів; регуляторні або політичні вимоги до готівкових альтернатив.
D – Equity, Security & Constraints	D2 Cyber criticality	Кіберкритичність системи; вимоги понад базові PCI DSS; класифікація як критичної інфраструктури.
D – Equity, Security & Constraints	D3 Time pressure	Жорсткість зовнішнього дедлайну: від відсутності до фіксованого політичного, фіскального або контрактного дедлайну.

Наведені параметри охоплюють не лише технічну складність впровадження, а й організаційні, контрактні, регуляторні, безпекові та соціально-тарифні умови проєкту. Саме тому TCS використовується не як технічна анкета, а як управлінський профіль контексту.

Кожен з чотирнадцяти параметрів оцінюється за чотирирівневою шкалою з вербальними описами: 1 – Minimal, 2 – Moderate, 3 – Significant, 4 – Critical. Числові значення є операційними кодами для Configuration Engine, а не метричними вимірами. Конкретні описові ознаки рівнів для кожного параметра формуються у вигляді окремого артефакту проєкту – TCS Worksheet – і фіксуються в Calibration Log. Заповнення TCS Profile здійснюється у Phase 0 (Inheritance Audit) кросфункціональною командою; обґрунтування кожного присвоєного рівня документується в Calibration Log. Повна форма TCS Worksheet з рівневими дескрипторами доцільно виноситься до додатків як окремий управлінський артефакт. (див. таблицю Б.1 додатка Б).

На основі оцінок за чотирнадцятьма параметрами сукупний TCS Score обчислюється як зважена сума середніх значень категорій за формулою (3.1):

$$TCS = w_A \cdot S_A + w_B \cdot S_B + w_C \cdot S_C + w_D \cdot S_D, \quad (3.1)$$

де S_A, S_B, S_C, S_D – середні значення параметрів відповідних категорій;

w_A, w_B, w_C, w_D – ваги відповідних категорій, визначені в Calibration Log;

$$w_A + w_B + w_C + w_D = 1.$$

Агрегований TCS Score (діапазон 1,0–4,0) є орієнтовним показником складності контексту, але не є самодостатньою підставою для вибору конфігурації. Configuration Engine додатково перевіряє наявність floor signals – критичних значень окремих параметрів TCS, які активують відповідні module sets незалежно від агрегованого балу. Логіка є некомпенсаторною: критичний параметр в одному вимірі не може бути нейтралізований значеннями інших. Floor signals і їх відповідність module sets та конфігураціям подано в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Floor signals Transport Context Score

Floor signal	Тригер	Активує
Equity Floor	$D1 \geq \text{Significant}$ або наявність регуляторної вимоги щодо збереження готівкових альтернатив.	Module set Equity-heavy: Fare Justice Loop, EAS, RLRI, Dual Architecture Pattern.
Cyber Floor	$D2 = \text{Critical}$ або класифікація системи як критичної інфраструктури.	Module set Cyber-critical: Cyber Incident Escalation Protocol, Evidence Renewal Schedule.
Legacy Floor	$C1 \geq \text{Significant}$ або $C2 = \text{Critical}$ (істотна контрактна пов'язаність із чинним постачальником або інтегратором).	Module set Brown-field: Strangler Fig migration plan, Legacy Risk Register, Contract Escape Map.
Federation Floor	$B1 \geq \text{Significant}$ (мультиоператорна або федеративна структура governance).	Конфігурація Federated; Federated Governance Model; Unified Gate Decision Log.
Time Floor	$D3 = \text{Critical}$ або наявність фіксованого політико-обумовленого дедлайну.	Module set Crisis: Scope Reprioritization Matrix, прискорений Time-boxed Gate Protocol.
Political/Fiscal Floor	$B4 \geq \text{Significant}$ або очікувана зміна керівництва, бюджету чи тарифної політики.	Module set Political/Fiscal: Shock Register, Stakeholder Recommitment Protocol.

Floor signals запобігають ситуації, коли високий агрегований TCS Score або середній рівень складності приховує критичний ризик в окремому домені. Така логіка забезпечує консервативне конфігурування RG-HLM для ризикових транспортних платіжних впроваджень.

Configuration Engine є формалізованим механізмом перетворення TCS Profile у конфігурацію методології. Алгоритм складається з чотирьох послідовних кроків, позначуваних аббревіатурою C-M-A-C: Categorize, Match, Activate і Calibrate. На кроці Categorize обчислюється TCS Score за формулою (3.1), перевіряється наявність floor signals (таблиця 3.6) і визначається TCS Category проєкту (Low, Medium, High або Critical). На кроці Match контекст зіставляється з базовою конфігурацією – Micro, Base, Extended або Federated – з

урахуванням профілів категорій А і В та активних floor signals. На кроці Activate через Module Activation Matrix визначається, які з п'яти module sets активуються для цього проєкту; активація є бінарним рішенням «активовано / не активовано» і не передбачає часткового застосування. На кроці Calibrate задаються конкретні числові параметри методології – ваги доменів VRP, time-boxes для gate review, тривалість Hypercare, порогові значення RSI – і фіксуються в Calibration Log.

Module Activation Matrix є формалізованим зв'язком між характеристиками TCS Profile та активацією конкретних module sets. Кожен рядок матриці визначає одну тематичну розширювальну рамку та логіку активації відповідного module set на основі значень параметрів TCS. Активація відбувається за логікою диз'юнкції: будь-який з вказаних тригерів є достатньою умовою. Матриця активації подана в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Module Activation Matrix

Module set	Тригери активації (логіка «або»)
Brown-field	$C1 \geq \text{Significant}$ або $C2 = \text{Critical}$ або проєкт передбачає співіснування з legacy-системою понад порогову тривалість, визначену в Calibration Log.
Crisis	$D3 = \text{Critical}$ або наявний зовнішній політично зумовлений дедлайн або очікуване скорочення бюджету понад кризовий поріг Calibration Log після старту Phase 1.
Equity-heavy	$D1 \geq \text{Significant}$ або регуляторна вимога щодо готівкових альтернатив або частка unbanked/underbanked пасажирів перевищує поріг Calibration Log.
Cyber-critical	$D2 = \text{Critical}$ або класифікація системи як критичної інфраструктури або вимоги наднаціонального рівня понад базові PCI DSS / NIST CSF.
Political/Fiscal	$B4 \geq \text{Significant}$ або очікувана зміна керівництва чи тарифної політики протягом проєкту або фінансування здійснюється через щорічне політичне рішення.

Module Activation Matrix переводить контекстні характеристики проєкту в конкретний набір управлінських механізмів. Завдяки цьому додаткові артефакти RG-HLM активуються не інтуїтивно, а на підставі формалізованих ознак контексту.

Усі рішення Configuration Engine фіксуються в окремому артефакті – Configuration Decision Log. Він супроводжує проєкт від Phase 0 до Hypercare Exit

Gate і містить TCS Profile на момент прийняття рішення, виявлені floor signals, обрану базову конфігурацію, активовані module sets та обґрунтування кожного конфігураційного рішення. Configuration Decision Log є джерелом ретроспективного аналізу та цільового калібрування параметрів при подальшому застосуванні RG-HLM до інших проєктів.

Configuration Engine не є одноразовим механізмом. Повторна активація може здійснюватися після суттєвих змін контексту: кіберінциденту, що підвищує D2 до рівня Critical; зміни керівництва оператора, що підвищує B4; бюджетного шоку, який підвищує D3 і одночасно активує Crisis module set. Повторне рішення Configuration Engine ухвалюється в межах Time-boxed Gate Protocol з документуванням у Configuration Decision Log і відповідним оновленням Calibration Log. Повторна активація може призвести до активації додаткового module set або зміни базової конфігурації, наприклад переходу від Base до Extended у разі приєднання додаткового оператора. Така логіка відрізняє RG-HLM від ситуативних method engineering-підходів [44], де конфігурація методології зазвичай фіксується на старті проєкту. Структуру Configuration Decision Log та Calibration Log як управлінських артефактів наведено у таблицях Б.2 і Б.4 додатка Б відповідно.

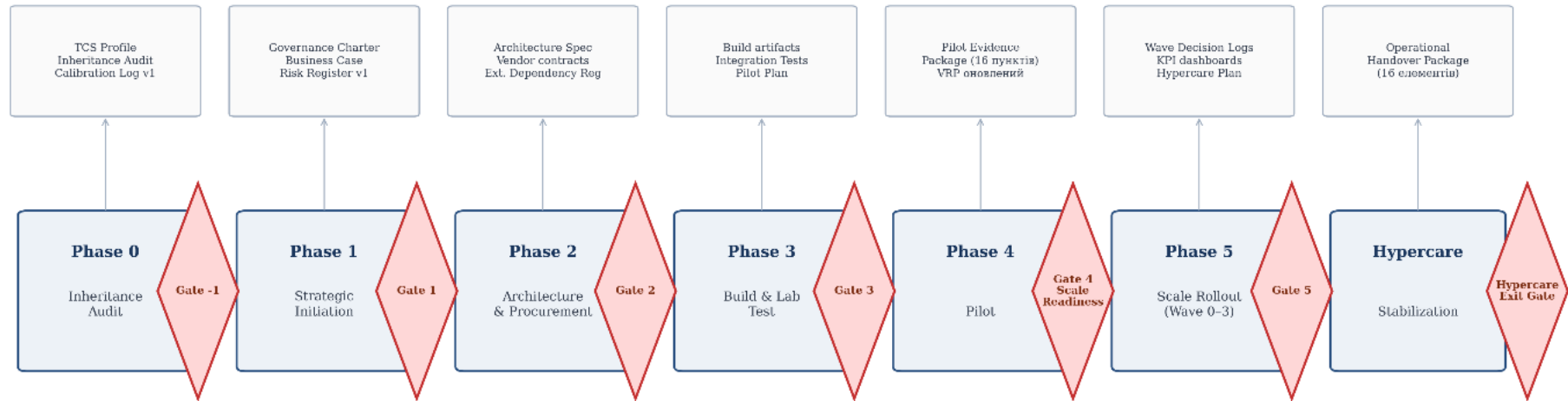
3.4 Lifecycle Core та gate-логіка методології

Інваріантним фазовим ядром методології є Lifecycle Core – структура з семи фаз і семи контрольних точок. Lifecycle Core зберігається в усіх конфігураціях методології незалежно від класу проєкту. Адаптація до контексту відбувається через обсяг артефактів кожної фази, конкретні gate-критерії та активовані module sets, але не через додавання чи перестановку самих фаз. Узагальнену структуру Lifecycle Core із фазами та контрольними gates подано на рисунку 3.2.

Lifecycle Core методології RG-HLM з gates

(інваріантна фазова структура: Phase 0 → Phase 5 → Hypercare; сім контрольних gates)

Ключові артефакти фази



Time-boxed Gate Protocol: 6 можливих рішень на кожному gate



Hypercare Exit Gate відокремлений від Gate 5: завершення масштабування ≠ готовність до самостійних операцій

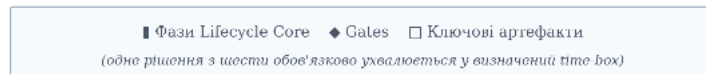


Рисунок 3.2 – Lifecycle Core методології RG-HLM з gates

Подана на рисунку 3.2 структура показує, що RG-HLM розмежовує фазу масштабування та постзапускову стабілізацію. Gate 5 фіксує завершення Scale Rollout, тоді як Hypercare Exit Gate використовується для перевірки готовності операційної команди до самостійного управління системою.

Phase 0 (Inheritance Audit) є відмінною рисою RG-HLM порівняно з типовими РМ-методологіями. Її призначення – діагностика успадкованого контексту до початку активних фаз проєкту. Phase 0 виконує три функції: діагностичну (формує TCS Profile), превентивну (виявляє ризики успадкованого середовища до точки, в якій ці ризики стають структурними обмеженнями проєкту), та підготовчу (формує доказову базу для Gate -1). Inheritance Audit охоплює чотири категорії: технічну (legacy-обладнання, back-office, інтеграційні залежності), контрактну (ексклюзивні контракти, ліцензійні зобов'язання, exit costs), організаційну (ролі, процеси, кадри, досвід попередніх впроваджень) і регуляторну (нормативні вимоги, тарифна політика, політичні зобов'язання). Структуру Inheritance Audit Checklist як управлінського артефакту наведено у таблиці Б.5 додатка Б.

За результатами Phase 0 формуються артефакти: Inheritance Audit Checklist, Legacy Risk Register, Contract Escape Map, Organizational Readiness Map, Regulatory Constraints Profile, первинний TCS Profile, Migration Strategy Decision Matrix (Greenfield Replacement / Strangler Fig Migration [45] / Coexistence Strategy / Wrapper Strategy), Configuration Decision Log та первинний Calibration Log. Phase 0 завершується контрольною точкою Gate -1 – першою точкою прийняття рішення в межах Lifecycle Core. На Gate -1 рішення No-Go доцільно трактувати не як автоматичне припинення ініціативи, а як неможливість запуску проєкту в поточній постановці. У такому випадку формується Reframe Brief, переглядаються scope, governance або архітектурні припущення, після чого Phase 0 може бути повторена для оновленої постановки.

Phase 1 (Strategic Initiation) орієнтована на стратегічне визначення проєкту: бачення, scope, governance-структуру, high-level business case і стратегію

масштабування. Phase 2 (Architecture & Procurement) охоплює детальне архітектурне проектування, відбір постачальників, укладання контрактів і формування тарифної політики. Phase 3 (Build & Lab Test) передбачає розробку, конфігурування та лабораторне тестування, включаючи первинні тести безпеки за PCI DSS [50] та NIST CSF / Transit Profile [51, 52]. Phase 4 (Pilot) забезпечує контрольоване впровадження у визначеному периметрі з накопиченням Pilot Evidence Package. Phase 5 (Scale Rollout) спрямована на хвилеве масштабування з внутрішньою структурою Wave Gates. Hypercare забезпечує посилену операційну підтримку після завершення масштабування і до передачі системи в режим самостійних операцій. Зведену карту фаз і ключових артефактів Lifecycle Core наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Фази Lifecycle Core та ключові артефакти

Фаза	Призначення	Gate на виході	Ключові артефакти
Phase 0 Inheritance Audit	Діагностика успадкованого контексту; формування TCS Profile; виявлення структурних обмежень.	Gate -1 Go / Conditional Go / Reframe	Inheritance Audit Checklist; Legacy Risk Register; Contract Escape Map; TCS Profile v1; Migration Strategy Decision Matrix; Configuration Decision Log; Calibration Log v1.
Phase 1 Strategic Initiation	Стратегічне визначення проєкту: бачення, scope, governance, high-level business case.	Gate 1 Go / Conditional Go / Hold / Escalate / No-Go / Reframe	Governance Charter; RACI v1; High-level Business Case; Risk Register v1; High-level Rollout Strategy.
Phase 2 Architecture & Procurement	Архітектурні рішення; контракти з постачальниками; тарифна політика.	Gate 2	Architecture Specification; Vendor contracts; External Dependency Register v1; Fare policy.
Phase 3 Build & Lab Test	Розробка, конфігурування, лабораторне тестування, первинні тести безпеки.	Gate 3	Build artifacts; Integration Test results; Security baseline; Pilot Plan.

Кінець таблиці 3.8

Фаза	Призначення	Gate на виході	Ключові артефакти
Phase 4 Pilot	Контрольоване впровадження; накопичення Pilot Evidence Package.	Gate 4 Scale Readiness Gate	Pilot Evidence Package (16 пунктів); оновлений Vector Readiness Profile; Rollout Wave Plan; Service KPI Catalogue v1.
Phase 5 Scale Rollout	Хвилеве масштабування: Wave 0 – Wave 3 з внутрішніми Wave Gates.	Gate 5	Wave Decision Logs; оновлений External Dependency Register; KPI dashboards; Hypercare Plan.
Hypercare Phase	Посилена операційна підтримка; передача в режим самостійних операцій.	Hypercare Exit Gate	Operational Handover Package (16 елементів); final Service KPI Catalogue; Operations Readiness Statement.

Таким чином, Lifecycle Core забезпечує не лише послідовність фаз, а й формальну прив'язку кожної фази до управлінських артефактів і контрольного gate-рішення. Це дає змогу відокремити завершення робіт від підтвердження готовності до переходу в наступний стан життєвого циклу.

Gate-логіка методології RG-HLM формалізується через Time-boxed Gate Protocol. Кожен gate review має фіксований time-box, заданий у Calibration Log проєкту, і завершується ухваленням одного з шести визначених рішень. Замкнений набір рішень унеможливорює стан «gate review без рішення», який є типовою проблемою галузевих впроваджень [10, 37]. Шість рішень Time-boxed Gate Protocol наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Рішення Time-boxed Gate Protocol

Рішення	Підстава	Наслідок
Go	Усі gate-критерії виконані; Vector Readiness Profile відповідає Calibration Log порогам; немає активних блокерів у External Dependency Register.	Перехід до наступної фази; рішення документується в Gate Decision Log.
Conditional Go	Критичні gate-критерії виконані; виявлено усувні розриви, що документуються у Watch List.	Перехід до наступної фази з Watch List; розриви мають бути закриті до наступного gate review.

Кінець таблиці 3.9

Рішення	Підстава	Наслідок
Hold	Виявлено суттєвий розрив, що потребує доопрацювання в поточній фазі; проєкт не припиняється.	Поточна фаза продовжується; повторний gate review після усунення розривів у межах нового time-box.
Escalate	Розрив потребує ресурсів, повноважень або рішень поза рівнем проєктної команди.	Передача питання на Steering Committee або Interagency Decision Board; повторний gate review після ескалаційного рішення.
No-Go	Виявлено критичний розрив, який унеможливорює продовження поточної постановки проєкту.	Повернення до попередньої фази або переведення в стан suspension; повторне проходження Phase 0 для оновленої постановки.
Reframe	Загальна постановка проєкту не відповідає виявленому контексту або наявним обмеженням.	Підготовка Reframe Brief; перегляд score, конфігурації або governance; повторна Phase 0 з оновленою постановкою.

Наведений набір рішень забезпечує керування gate review і запобігає ситуації, коли проєкт формально перебуває між фазами без чіткого управлінського статусу. Особливу роль відіграє рішення Conditional Go, оскільки воно дозволяє продовжити рух проєкту лише за умови фіксації конкретних розривів у Watch List.

Усі gate-рішення документуються в Gate Decision Log – централізованому артефакті, що містить підставу рішення, обґрунтування, склад учасників gate review, evidence package, Watch List у разі Conditional Go та характеристики Reframe Brief у разі Reframe. Для конфігурації Federated рішення окремих учасників консоліднуються через Unified Gate Decision Log, що забезпечує єдину фіксацію позицій операторів, регуляторів та інших залучених сторін.

Для контролю змін готовності між плановими gate reviews у RG-HLM передбачено механізм Gate Drift. Gate Drift означає моніторинг змін у Vector Readiness Profile між контрольними точками. Виявлення суттєвого зниження доменної оцінки або появи активного зовнішнього SLA-порушення є підставою для позапланового gate review за тим самим Time-boxed Gate Protocol. Така логіка

узгоджується з практикою readiness gates в інфраструктурних програмах [53] і відрізняє RG-HLM від класичних stage-gate систем [9, 25, 54–56], у яких gates розглядаються як строго планові події з фіксованим розкладом.

3.5 Vector Readiness Profile і Domain Floor Rule

Аналіз галузевих кейсів засвідчив, що скалярна форма оцінювання готовності проєкту має чотири системні обмеження: компенсаторність, можливість post-hoc маніпуляції вагами критеріїв, статичність оцінок без урахування часу та дискретність між gate reviews.

Перший рівень – векторна оцінка готовності за вісьмома доменами; кожен домен оцінюється числовим значенням у діапазоні [0; 1]. Другий рівень – скалярний Readiness Synthesis Index (RSI) як зважена комбінація доменних оцінок. RSI є допоміжним показником для комунікації зі стейкхолдерами та ретроспективного аналізу; пріоритет на gate review мають саме векторний профіль і виконання Domain Floor Rule. Перелік восьми доменів VRP подано в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Домени Vector Readiness Profile

№	Домен	Що оцінюється
D1	Technical Readiness	Готовність технічних компонентів: валідатори, термінали, back-office, EMV/PCI compliance, продуктивність на цільовому навантаженні.
D2	Integration Readiness	Готовність інтеграційних з'єднань: API з банками-еквайєрами, платіжними схемами, ERP-системами оператора, GIS-сервісами; стабільність end-to-end ланцюга.
D3	Operational Readiness	Готовність операційних процесів: підтримка пасажирів, обслуговування обладнання, реверс транзакцій, refunds, dispute resolution.

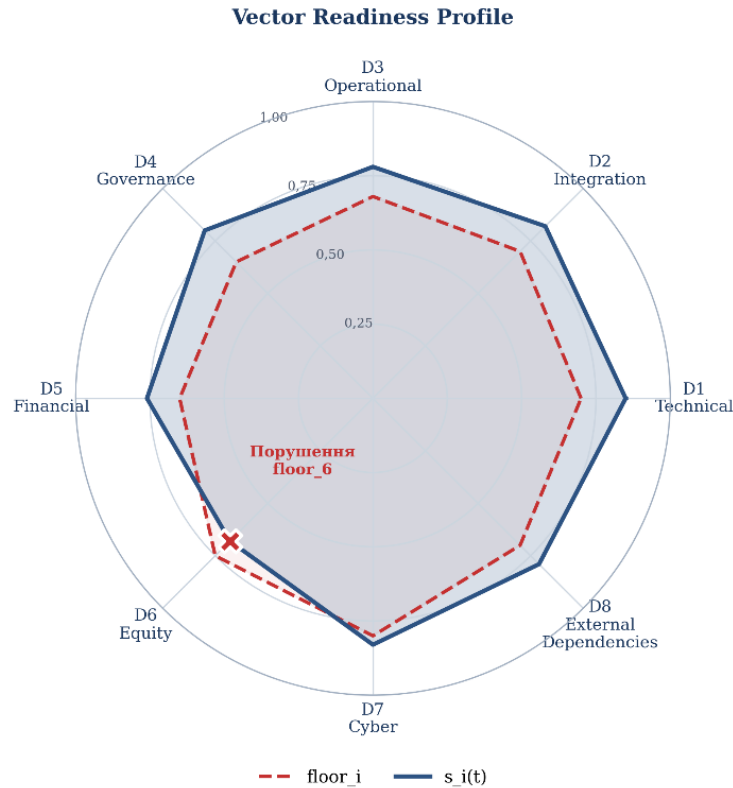
Кінець таблиці 3.10

№	Домен	Що оцінюється
D4	Governance Readiness	Готовність governance-структури: RACI, процедури прийняття рішень, Steering Committee, ескалаційні шляхи.
D5	Financial Readiness	Готовність settlement і clearing-процесів, контроль revenue leakage, відповідність TCO бюджетним обмеженням, фактичні комісійні.
D6	Equity Readiness	Альтернативи для unbanked-пасажирів, концесійні механізми, готівкові канали, відповідність регуляторним вимогам інклюзивності [11, 12, 15, 46].
D7	Cyber Readiness	Відповідність NIST CSF / PCI DSS, готовність incident response, оновлення cyber-evidence, інтеграція з threat watch.
D8	External Dependencies Readiness	SLA з банками-еквайєрами, платіжними схемами, телеком-провайдерами, регуляторами; статус External Dependency Register.

Наведені домени охоплюють не лише технічну готовність, а й інтеграційну, операційну, фінансову, управлінську, соціально-тарифну, кібербезпекову та зовнішньо-залежну готовність проєкту. Саме тому VRP використовується як багатовимірний профіль готовності, а не як допоміжна таблиця показників.

Логіку поєднання доменних оцінок VRP з мінімальними floor-рівнями доцільно подавати графічно, оскільки візуальне зіставлення доменів дає змогу швидко виявити критичні розриви готовності. Узагальнену логіку Vector Readiness Profile та Domain Floor Rule подано на рисунку 3.3.

Vector Readiness Profile та Domain Floor Rule



Domain Floor Rule

$$s_i(t) \geq floor_i \text{ для всіх } i = 1, \dots, 8$$

Кожен домен D_i оцінюється у діапазоні $[0; 1]$.
 $Floor_i$ — мінімально допустимий рівень готовності для домена; задається Calibration Log.

Якщо хоча б один домен порушує floor-умову, рішення Go на gate review неможливе незалежно від агрегованого RSI.

У прикладі вище:

- Сім з восьми доменів задовольняють floor: $s_i \geq floor_i$
- Домен D6 (Equity) — порушення: $s_6 = 0,68 < floor_6 = 0,75$
- Рішення Go блокується. Можливі альтернативи:
 - Conditional Go (з Watch List) — недопустимо при порушенні floor;
 - Hold — продовження фази до усунення розриву (за Time-boxed Gate Protocol).

допоміжний агрегат: $RSI = \sum_{i=1}^8 w_i \cdot s_i(t)$ (RSI не замінює Domain Floor Rule)

Рисунок 3.3 – Vector Readiness Profile та Domain Floor Rule

Подана на рисунку 3.3 схема відображає зіставлення поточних доменних оцінок $s_i(t)$ з мінімально допустимими floor-рівнями $floor_i$. Якщо значення оцінки за будь-яким доменом розташовується нижче відповідного floor-рівня, тобто ближче до центру діаграми, Domain Floor Rule вважається порушеним, а рішення Go блокується незалежно від агрегованого RSI. Така візуалізація підкреслює некомпенсаторну природу оцінювання і слугує комунікаційним інструментом для gate review.

Domain Floor Rule є некомпенсаторним правилом ухвалення рішень про перехід між фазами життєвого циклу. Для кожного домена D_i визначається мінімальний рівень готовності $floor_i$, нижче якого значення домена не може бути компенсоване іншими доменами. Формально умова Domain Floor Rule подається у вигляді:

$$s_{i(t)} \geq floor_i, i = 1, \dots, 8, \quad (3.2)$$

де $s_{i(t)}$ – поточна оцінка готовності за доменом D_i на момент часу t ;

$floor_i$ – мінімально допустиме значення для домена D_i , задане Calibration Log конкретного проєкту.

Якщо хоча б один домен порушує floor-умову, рішення Go на gate review стає неможливим незалежно від значення скалярного RSI. Конкретні значення $floor_i$ задаються Calibration Log і можуть відрізнятися для різних gate reviews одного проєкту: на ранніх gates вимоги нижчі, на Gate 4 (Scale Readiness Gate) і Gate 5 вони підвищуються відповідно до природи завершеної фази. Цей підхід узгоджується з традицією багатокритеріального аналізу рішень з некомпенсаторною агрегацією [57].

Допоміжний агрегований показник RSI – Readiness Synthesis Index – обчислюється як зважена сума доменних оцінок за формулою (3.3):

$$RSI = \sum w_i \cdot s_{i(t)}, i = 1, \dots, 8, \quad (3.3)$$

де w_i – вага домена D_i ; $\sum w = 1$;

Ваги задаються в Calibration Log конкретного проєкту через експертно-орієнтовану AHP/Delphi-based процедуру.

На відміну від класичних скалярних readiness-метрик, RSI у RG-HLM не є самодостатнім критерієм рішення Go. RSI виконує допоміжну функцію: забезпечує комунікаційний показник готовності, підтримує ретроспективний аналіз і служить вхідною точкою для трендових алертів Continuous Readiness Monitoring. Пріоритет на gate review зберігається за векторним аналізом та виконанням Domain Floor Rule.

Ваги доменів w_i можуть визначатися через експертно-орієнтований протокол, що поєднує елементи методу аналітичних ієрархій (AHP) [58] та Delphi-based узгодження [59]. Такий протокол розглядається як рекомендована процедура калібрування в межах конкретного проєкту, а не як емпірично виконане експертне дослідження в межах цієї роботи. AHP/Delphi-based процедура виступає артефактом методології, що може реалізовуватися через серію воркшопів за участю представників транспортного оператора, транспортного органу, регулятора, банків-еквайєрів та інтеграторів. Після первинного узгодження ваги фіксуються через механізм Weight Freeze і не можуть змінюватися довільно. Зміна ваг можлива виключно через формалізовану Weight Update Procedure – повторний цикл AHP/Delphi з ескалацією до Steering Committee. Підозрювані випадки маніпуляції оцінками реєструються в окремому артефакті Metric Gaming Incident Register, що супроводжує проєкт від Phase 0 до Hypercare Exit Gate.

Окремим методологічним викликом є знецінювання evidence у часі. Evidence, отримане на одному gate review, може втратити актуальність до наступного оцінювання через зміну регуляторних вимог, оновлення API банків або переформатування складу стейкхолдерів. У RG-HLM передбачено механізм

time-decay, який формалізує знецінювання доменних оцінок відповідно до експоненційного закону (3.4):

$$s_{i(t)} = s_{i(t_0)} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot (t - t_0)), \quad (3.4)$$

де $s_{i(t_0)}$ – оцінка домена D_i на момент отримання evidence t_0 ;

λ_i – коефіцієнт знецінювання домена, що задається в Calibration Log;

$t - t_0$ – різниця часу в одиницях, визначених у Calibration Log проєкту.

Коефіцієнт λ_i не є універсальною константою методології. Для домена D7 (Cyber Readiness) λ може бути вищим через швидку зміну загроз і вимог [51, 52]; для домена D4 (Governance Readiness) – нижчим через відносну стабільність governance-структури. Конкретні значення λ_i задаються Calibration Log конкретного проєкту. Практичним наслідком time-decay є необхідність регулярного оновлення evidence для критичних доменів за Evidence Renewal Schedule.

Дискретна оцінка готовності на gate reviews доповнюється Continuous Readiness Monitoring (CRM) – безперервним відстеженням стану VRP між gate reviews. CRM передбачає п'ять типів алертів: Domain Drift Alert (суттєве зниження оцінки домена між reviews); Floor Approach Alert (наближення доменної оцінки до $floor_i$); External SLA Breach Alert (порушення SLA зовнішньої залежності з External Dependency Register); Metric Gaming Alert (підозра на маніпуляцію оцінками з ескалацією до Steering Committee); Evidence Staleness Alert (втрата актуальності evidence відповідно до time-decay). Активні алерти є підставою для ініціювання позапланового gate review за Time-boxed Gate Protocol.

Інтеграція VRP з gate decisions реалізується через три умови, що перевіряються одночасно на кожному gate review. Рішення Go вимагає виконання трьох умов: усі домени мають значення $s_i(t)$ не нижче $floor_i$; RSI не нижчий за поріг Calibration Log для відповідного gate; усі активні CRM-алерти

закриті або мають затверджений план closure до кінця наступної фази.

Рішення Conditional Go допускається, якщо умови Domain Floor Rule та RSI виконані, але існують активні CRM-алерти з Watch List. Рішення Hold приймається, якщо хоча б один домен порушує floor-умову, але виявлені розриви можуть бути усунуті в обґрунтований строк. Рішення No-Go або Reframe приймається тоді, коли аналіз VRP показує, що поточна форма проєкту не здатна досягти необхідних доменних рівнів у прийнятні строки або що доменні розриви свідчать про фундаментальну невідповідність постановки проєкту реальному контексту.

3.6 Pilot-to-Scale Readiness Framework

Pilot-to-Scale Readiness Framework формалізує перехід від пілотного впровадження до масштабування як одну з ключових проблем управління життєвим циклом транспортного платіжного ІТ-проєкту. Аналіз кейсів туки [41], MBTA AFC 2.0 [16], OVPay [40] показав, що успішне завершення пілота часто ототожнювалося з готовністю до масштабування, що призводило до значних операційних, фінансових і репутаційних втрат при переході до повномасштабного впровадження. Цю проблему документує також аналітика галузевих оглядів [10, 37, 38, 60].

Pilot-to-Scale Readiness Framework спирається на чотири методологічні принципи. Пілот є експериментом (а не лише демонстрацією) – його основна функція полягає в накопиченні доказової бази для рішення про готовність до масштабування. Масштабування не є простим повторенням пілота: воно вводить нові динамічні явища – нелінійне навантаження, ширшу варіативність пасажирської поведінки, інтеграційні труднощі при підключенні нових сегментів, нову динаміку зовнішніх залежностей. Помилка на gate переходу від

пілота до масштабування має непропорційні наслідки порівняно з помилками на ранніх gates: відкат масштабованої системи коштує суттєво дорожче ніж переоформлення пілота. Масштабування не повинно бути one-shot подією, а є хвильовим процесом з власними проміжними контрольними точками.

Pilot Evidence Package (PEP) є основним артефактом Phase 4 і вхідною доказовою базою для Scale Readiness Gate. Він складається з шістнадцяти пунктів, об'єднаних у п'ять тематичних блоків: Technical Performance, Operational Readiness, Financial Evidence, Equity & Inclusion, External Dependencies. Тематична структура PEP подана в таблиці 3.11. Повний опитувальник з шістнадцяти пунктів є самостійним артефактом і виноситься у додатки. Відсутність даних за будь-яким пунктом PEP є самостійним ризиком для Gate 4, якщо така відсутність не обґрунтована окремо в Calibration Log проєкту. (див. таблицю В.3 додатка В).

Таблиця 3.11 – Тематична структура Pilot Evidence Package

Блок	Пункти	Зміст
A – Technical Performance	A1 – A4	Розподіл часу валідації, частота і класифікація відмов, поведінка під граничним навантаженням, інтеграційна стабільність з back-office.
B – Operational Readiness	B1 – B3	Функціонування пасажирської підтримки, процедури реверсу і refunds, обслуговування обладнання у польових умовах.
C – Financial Evidence	C1 – C4	Settlement і clearing-показники, revenue leakage, фактичні комісійні, повторне калібрування TCO на горизонт масштабування.
D – Equity & Inclusion	D1 – D3	Поведінка unbanked-сегмента, функціонування концесій, fare evasion і доступність [11, 15, 46, 47].
E – External Dependencies	E1 – E2	Фактичне виконання SLA зовнішніми залежностями, виявлені у пілоті нові залежності.

Таким чином, Pilot Evidence Package поєднує технічні, операційні, фінансові, соціально-тарифні та зовнішньо-залежні докази готовності. Це дає змогу відокремити факт завершення пілота від обґрунтованого рішення про готовність до масштабування.

Scale Readiness Gate (Gate 4) є однією з найкритичніших контрольних точок Lifecycle Core, оскільки помилки на цьому переході мають найбільші операційні та фінансові наслідки. До Gate 4 застосовуються всі шість рішень Time-boxed Gate Protocol (таблиця 3.9). Рішення Conditional Go на Gate 4 означає, що масштабування починається з Wave 0 з обмеженим scope, а повний rollout блокується до закриття визначених у Watch List умов. Така схема знижує ризик одномоментного масштабування за умов неповної доказової бази.

Pilot-to-Scale Readiness Framework є предметно-специфічним розвитком ідеї Stage-Gate [9, 25, 56], але має суттєві відмінності, зумовлені природою транспортного платіжного впровадження. Модель Stage-Gate [54, 55] розроблялася для управління продуктовими інноваційними проєктами в межах однієї організації зі стабільним контекстом прийняття рішень. Натомість Scale Readiness Gate у RG-HLM діє в мультистейкхолдерному середовищі, де Gate 4 може вимагати синхронізації позицій транспортного оператора, транспортного органу, регулятора, інтегратора та фінансових партнерів.

Крім того, Stage-Gate орієнтована переважно на оцінювання ринкової новизни та комерційної доцільності, тоді як Scale Readiness Gate фокусується на операційній стійкості, інтеграційній готовності, соціально-тарифній рівновазі, зовнішніх залежностях та здатності системи функціонувати в реальному пасажирському середовищі. RG-HLM також розмежовує готовність до масштабування, що перевіряється на Gate 4, та управління самим масштабуванням, що реалізується через Wave Gates усередині Phase 5.

Phase 5 (Scale Rollout) структурується через Rollout Wave Plan з чотирьох хвиль. Wave 0 (Limited Activation) – активація мінімального сегмента: один маршрут, один тип транспортного засобу, обмежена пасажирська група. Функція

Wave 0 полягає в підтвердженні поведінки системи в продуктивному середовищі. Wave 1 (Initial Rollout) – перший значимий пасажирський сегмент: виявлення проблем масштабування на контрольованому обсязі. Wave 2 (Major Rollout) – розгортання на приблизно 50–70 % цільового пасажиропотоку: перевірка системи на істотному навантаженні. Wave 3 (Full Coverage) – досягнення повного покриття включно з периферійними сегментами. Структуру Rollout Wave Plan подано в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Rollout Wave Plan

Хвиля	Орієнтовний обсяг	Управлінська функція
Wave 0 – Limited Activation	Мінімальний сегмент: один маршрут, один тип транспортного засобу.	Підтвердження стабільності системи в продуктивному середовищі.
Wave 1 – Initial Rollout	Перший значимий пасажирський сегмент.	Виявлення проблем масштабування на контрольованому обсязі.
Wave 2 – Major Rollout	Розгортання орієнтовно на 50–70 % цільового пасажиропотоку.	Перевірка системи на істотному навантаженні.
Wave 3 – Full Coverage	Залишковий обсяг включно з периферійними сегментами.	Завершення покриття; підготовка до Hypercare.

Хвильова структура масштабування дає змогу поступово збільшувати навантаження на систему та перевіряти готовність операційних, інтеграційних і зовнішньо-залежних контурів перед переходом до повного покриття.

Між хвилями розташовані Wave Gates, що використовують спеціалізований набір рішень, відмінний від Time-boxed Gate Protocol для основних gates Lifecycle Core. Wave Gates передбачають п'ять можливих рішень:

- Continue – перехід до наступної хвилі за виконанням визначених wave-критеріїв;
- Pause – тимчасова зупинка хвильового просування до усунення виявленого розриву;

- Rollback – повернення до попередньої хвилі з консервацією досягнутого стану;
- Reframe – переосмислення сценарію подальших хвиль, зокрема зміна послідовності сегментів або корекція технічних параметрів;
- Escalate – передача рішення на Steering Committee або Interagency Decision Board.

Для конфігурації Federated передбачено механізм opt-out fast-track. Такий механізм дозволяє окремому оператору-учаснику ініціювати власну хвилю масштабування раніше за загальний Wave Plan за умови відповідності власному VRP, збереження інтеперабельності з іншими учасниками системи та ухвалення рішення Interagency Decision Board з фіксацією в Unified Gate Decision Log.

3.7 Post-Go-Live Operations, Fare Justice Loop та ризикові module sets

Постзапускова стабілізація, управління зовнішніми залежностями та контроль специфічних ризиків транспортного платіжного впровадження потребують окремого управлінського контуру. Загальні РМ-методології [7, 20, 21] забезпечують для таких завдань базовий каркас, однак не деталізують предметну логіку Hypercare, передачі системи в операційний режим, моніторингу equity-ризиків, зовнішніх SLA-залежностей, кіберстійкості та політико-фіскальних шоків.

У RG-HLM цей контур формується через Hypercare, Operational Handover Package, Hypercare Exit Gate, Fare Justice Loop, External Dependency Register та ризикові module sets Cyber-critical, Political/Fiscal і Federated Governance. Зазначені елементи активуються через Module Activation Matrix і формують post-go-live management framework методології.

Hypercare є окремим режимом постзапускової стабілізації, концептуально відмінним від звичайної експлуатаційної підтримки [61, 62]. Ключовими характеристиками Hypercare є:

- посилений склад команди (проектна команда тимчасово залишається разом з операційною);
- знижені пороги реагування на інциденти; підвищена частота Continuous Readiness Monitoring;
- розширений Service KPI Catalogue.

Тривалість Hypercare задається Calibration Log конкретного проекту, а не як універсальна константа методології – оптимальна тривалість залежить від масштабу, складності інтеграцій і ризикового профілю проекту.

Operational Handover Package є основним артефактом передачі системи від проектної команди до операційної. Структура пакета охоплює шістнадцять інваріантних елементів у чотирьох категоріях: А – технічна документація; В – операційні процеси; С – знання та компетенції; D – контракти та залежності. До складу пакета входять архітектурна документація, операційні runbooks, integration documentation, configuration baseline, процедури моніторингу й incident response, матеріали навчання, knowledge base інцидентів, escalation matrix, External Dependency Register, контракти з постачальниками, контракти з банками-еквайєрами та regulatory compliance status.

Hypercare Exit Gate є контрольною точкою завершення Hypercare, формально відокремленою від Gate 5. Gate 5 фіксує завершення Phase 5 (Scale Rollout) і перехід у Hypercare; Hypercare Exit Gate фіксує завершення посиленої підтримки і перехід у режим самостійних операцій. Це розмежування є методологічно важливим: воно унеможливорює помилкову інтерпретацію завершення масштабування як завершення проекту. До Hypercare Exit Gate застосовуються всі шість рішень Time-boxed Gate Protocol, включно з Reframe у разі виявлення фундаментальної неготовності операційної команди. Зведення основних артефактів post-go-live management подано в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Основні артефакти Post-Go-Live Operations / Hypercare

Артефакт	Призначення
Hypercare Plan	Параметри посиленої підтримки: склад команди, тривалість, метрики реагування, розширений Service KPI Catalogue.
Operational Handover Package	Структурований пакет з 16 елементів у 4 категоріях: технічна документація, операційні процеси, знання та компетенції, контракти та залежності.
Service KPI Catalogue	Перелік ключових показників ефективності експлуатації: availability, performance, service quality, financial, equity. Розширений варіант для Hypercare.
Operations Readiness Statement	Підтвердження готовності операційної команди до самостійного управління; вхідний документ для Hypercare Exit Gate.
Post-Hypercare Continuous Improvement Plan	Структурований план оновлень, інтегрованих з Calibration Log на основі досвіду Hypercare.

Наведені артефакти забезпечують керовану передачу системи в операційний режим і зменшують ризик ситуації, коли масштабування формально завершено, але операційна команда ще не готова до самостійного управління системою.

Fare Justice Loop розгортає вимір equity зі статичної декларації принципу інклюзивності у вимірюваний управлінський контур. Загальний перехід до open-loop / АВТ створює ризик виключення unbanked та underbanked пасажирів, що зафіксовано в галузевих оглядах [11, 12, 15, 46–49]. RG-HLM формалізує цей вимір через три індикатори, що поєднуються у єдиному циклі прийняття рішень. Equity Access Score (EAS) – композитний показник доступності системи для всіх категорій пасажирів у діапазоні [0; 1], який охоплює п'ять субіндексів: Cash Access Index, Concession Coverage Index, Universal Design Index, Documentation Independence Index, Geographic Equity Index. Revenue Leakage Risk Index (RLRI) – композитний показник ризику втрати доходу в діапазоні [0; 1], що охоплює

технічні, поведінкові, структурні, інтеграційні та сервісні джерела leakage; RLRI вимірює саме ризик, а не фактичні втрати, що дає змогу здійснювати превентивне управління. Fare Justice Balance (FJB) – зведений індикатор стану Fare Justice Loop:

$$FJB = \alpha \cdot EAS - \beta \cdot RLRI, \quad (3.5)$$

де α і β – ваги конкретного проєкту, що задаються в Calibration Log і відображають відносний пріоритет між інклюзивністю та захистом доходу;

$\alpha + \beta = 1$. Структуру індикаторів EAS, RLRI та Fare Justice Balance як управлінських показників наведено у таблиці Д.1 додатка Д.

Fare Justice Loop підкріплюється Dual Architecture Pattern – архітектурним принципом, який передбачає одночасну підтримку чотирьох каналів оплати: Open-loop EMV / АБТ як основний; Closed-loop Concession – для пільгових категорій з власною системою аутентифікації; Cash / Non-bank Fallback – канал готівкової оплати для unbanked пасажирів; Assisted Digital – канал асистованої оплати для пасажирів з обмеженою цифровою грамотністю. Усі чотири канали об'єднуються єдиним back-office для clearing і settlement. Окремим елементом Fare Justice Loop є Anti-Evasion KPI Set – сукупність показників моніторингу fare evasion та поведінкового leakage. FJB інтегрується в Continuous Readiness Monitoring з власними drift-алертами; зниження FJB нижче порогу Calibration Log є підставою для коригувальних дій або позапланового gate review.

External Dependency Register є артефактом, що трактує зовнішні залежності проєкту не лише як потенційні ризики Risk Register, а як структурні елементи з власними gate-критеріями та SLA. Реєстр організований за чотирма категоріями: Banking & Payment Schemes, Regulatory & Compliance, Technical Integration Partners, Adjacent Operators & Ecosystem.

Для кожної категорії визначаються точки синхронізації з фазами Lifecycle Core. Наприклад, для Banking & Payment Schemes типовими точками є Phase 2

для контрактних умов, Phase 3 для інтеграційного тестування, Phase 4 для продуктивного clearing у пілоті та Phase 5 для перевірки масштабного навантаження. External Dependency Register доповнюється Dependency SLA / Commitment Map – матрицею «залежність – фаза», у якій для кожної комірки фіксуються Required, Committed і Observed рівні SLA. Розрив між Required і Committed є договірним gap-сигналом, а розрив між Committed і Observed – операційним сигналом, що підлягає ескалації за Time-boxed Gate Protocol.

Cyber-Resilience Operating Model є основним елементом module set Cyber-critical і переводить кіберстійкість із режиму дискретного підтвердження відповідності до режиму безперервної операційної здатності. Модель спирається на NIST Cybersecurity Framework 2.0 [51], NIST Transit Cybersecurity Profile [52] та PCI DSS 4.0.1 [50] і охоплює чотири компоненти: Evidence Renewal Schedule (регулярне оновлення cyber-evidence з урахуванням time-decay для домена D7); Cyber Incident Escalation Protocol з чотирма рівнями реагування (Operational, Tactical, Strategic, Crisis); Threat Watch Integration з NIST CSF, CERT та фінансовими ISAC, що дозволяє оперативно оновлювати параметр D2 у TCS Profile; Cyber Drill Cadence – регулярність навчальних інцидентів і червоних команд. Структуру Cyber Incident Escalation Protocol як управлінського артефакту наведено у таблиці Д.2 додатка Д.

Political/Fiscal Shock Management Framework є основним елементом module set Political/Fiscal і систематизує дев'ять класів шоків, які можуть виникнути в життєвому циклі: бюджетне скорочення, зміна керівництва оператора або регулятора, зміна тарифної політики, регуляторна реформа, стейкхолдерний конфлікт, виборчий цикл, економічний шок, зовнішня криза (війна, пандемія, надзвичайні природні події), медійний або громадський конфлікт. Інструментами реагування є Scope Reprioritization Matrix (розподіл елементів score за чотирма квадрантами: Core, Defend, Defer, Drop) і Stakeholder Recommitment Protocol (відновлення зобов'язань стейкхолдерів після шоку). Фіксація подій здійснюється в Political/Fiscal Shock Register. Реакція на шок може

ініціювати повторну активацію Configuration Engine.

Federated Governance Model – основний елемент конфігурації Federated. Federated Governance Model спрямована на вирішення проблеми мультиоператорної координації, документовану в [63, 64] для digital public infrastructure та LIAISON DMIGF. Модель вводить Interagency Decision Board (IDB) – платформу колективного прийняття рішень з трьома рівнями: Operational (консенсус присутніх учасників), Strategic (кваліфікована більшість за порогом Calibration Log) та Critical (консенсус усіх учасників). Federated Gate Alignment Protocol синхронізує gate-рішення між операторами через три етапи: Pre-Gate Alignment (узгодження evidence packages), Gate Synchronization Window (узгодження вікна одночасного gate review), Federated Gate Decision (ухвалення зведеного рішення). Unified Gate Decision Log консолідує індивідуальні рішення учасників, зведену позицію IDB та divergence statements учасників, що не погоджуються з зведеним рішенням. Federated Governance Model передбачає також opt-out fast-track – право окремого оператора-учасника запустити власну хвилю масштабування раніше за загальний Wave Plan з відповідним документуванням.

Активація module sets Cyber-critical, Political/Fiscal і конфігурації Federated не змінює фазову структуру Lifecycle Core. Вона додає до неї тематичні артефакти, специфічні gate-критерії та управлінські процедури, залишаючи інваріантне ядро методології незмінним. Таке розмежування підтверджує принцип конфігураційної універсальності: ризикові module sets розширюють методологію за контекстом, але не руйнують інваріантну структуру Lifecycle Core.

3.8 Узагальнення результатів розробки методології RG-HLM

Розроблена методологія Readiness-Gated Hybrid Lifecycle Methodology (RG-HLM) є предметно-специфічним розширенням для управління життєвим

циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. RG-HLM сформовано як єдину методологічну конструкцію, що поєднує інваріантні принципи, семирівневу архітектуру, механізм контекстної адаптації, фазове ядро Lifecycle Core, gate-логіку, оцінювання готовності, перехід від пілота до масштабування та постзапускову стабілізацію.

Контекстна адаптація методології реалізується через Transport Context Score, Configuration Engine та Module Activation Matrix. Transport Context Score забезпечує структуровану діагностику контексту за чотирнадцятьма параметрами, Configuration Engine перетворює TCS Profile на конфігурацію Micro, Base, Extended або Federated, а Module Activation Matrix визначає набір додаткових module sets. Calibration Log фіксує числові параметри конкретного проєкту та запобігає використанню універсальних порогових значень поза контекстом впровадження.

Lifecycle Core формалізує управління проєктом через послідовність Phase 0, Phase 1, Phase 2, Phase 3, Phase 4, Phase 5 та Hypercare. Особливе значення має Phase 0 (Inheritance Audit), що забезпечує діагностику успадкованого середовища до початку активних фаз проєкту. Відокремлення Hypercare Exit Gate від Gate 5 дає змогу розмежувати завершення масштабування та готовність операційної команди до самостійного управління системою.

Оцінювання готовності побудовано на поєднанні Vector Readiness Profile, Domain Floor Rule та допоміжного Readiness Synthesis Index. Vector Readiness Profile забезпечує багатовимірну оцінку готовності за вісьмома доменами, Domain Floor Rule блокує компенсаторну помилку усереднення критичних розривів, а RSI використовується як допоміжний комунікаційний та аналітичний показник. Механізми Weight Freeze, Weight Update Procedure, time-decay evidence та Continuous Readiness Monitoring підсилюють стійкість gate-рішень до маніпуляцій, застарівання доказів і змін між контрольними точками.

Pilot-to-Scale Readiness Framework формалізує перехід від пілотного

впровадження до масштабування. Pilot Evidence Package накопичує доказову базу для Scale Readiness Gate, Gate 4 відокремлює завершення пілота від готовності до масштабування, Rollout Wave Plan структурує масштабування як хвильовий процес, а Wave Gates забезпечують проміжний контроль між окремими хвилями rollout.

Постзапусковий контур RG-HLM охоплює Hypercare, Operational Handover Package, Service KPI Catalogue, Hypercare Exit Gate, Fare Justice Loop, External Dependency Register та ризикові module sets. Fare Justice Loop формалізує баланс між інклюзивністю та захистом доходу через EAS, RLRI і FJB. External Dependency Register переводить зовнішні залежності у керовані SLA-об'єкти. Cyber-Resilience Operating Model, Political/Fiscal Shock Management Framework та Federated Governance Model розширюють методологію для контекстів із підвищеною кіберкритичністю, політико-фіскальною нестабільністю або мультиоператорною координацією.

Методологічний внесок RG-HLM полягає у формалізації цілісного підходу до управління життєвим циклом транспортного платіжного IT-проєкту. Ключовими елементами такого внеску є Transport Context Score, Configuration Engine C-M-A-C, Vector Readiness Profile, Domain Floor Rule, Pilot-to-Scale Readiness Framework, Fare Justice Loop, External Dependency Register, Hypercare Exit Gate та Federated Governance Model. Окремі положення методології представлені в публікаціях [17–19], що додатково фіксує науково-прикладну спрямованість запропонованого підходу.

RG-HLM не слід трактувати як емпірично завершену галузеву методологію. Запропонована конструкція потребує демонстраційної апробації, ретроспективного зіставлення з реальними галузевими впровадженнями, прикладного калібрування параметрів Calibration Log і подальшого уточнення Module Activation Matrix на основі накопичених кейсів. У такому вигляді RG-HLM формує методологічне ядро, придатне для подальшої перевірки, адаптації та розвитку в межах транспортних платіжних IT-проєктів.

4 ДЕМОНСТРАЦІЙНА АПРОБАЦІЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ

4.1 Сценарій демонстраційної апробації та вихідна ситуація

Для демонстраційної апробації методології RG-HLM обрано узагальнений сценарій впровадження open-loop / АВТ рішення в середньо-великому європейському місті. Сценарій не є описом конкретного реального проєкту, а становить синтетичну конструкцію, яка відображає типові характеристики класу ІТ-проєктів, для якого розроблено методологію. Такий підхід дає змогу продемонструвати логіку застосування RG-HLM без прив'язки до конфіденційних даних, внутрішніх контрактів, закритих комерційних показників або унікальних політичних умов окремого міста.

Використання узагальненого сценарію є доцільним з методологічної точки зору, оскільки демонстраційна апробація має перевірити не успішність конкретного впровадження, а працездатність запропонованої логіки: переходу від опису контексту до TCS Profile, вибору конфігурації через Configuration Engine, активації відповідних module sets, формування Calibration Log, застосування Lifecycle Core та оцінювання готовності на ключових gate reviews. У межах цієї роботи така апробація розглядається як demonstration, а не як повна емпірична валідація RG-HLM у реальному проєктному середовищі.

Сценарій описує проєкт модернізації системи оплати громадського транспорту в середньо-великому європейському місті з населенням близько 800 тис. – 1,2 млн мешканців. Місто має мультимодальну транспортну мережу, що включає автобусний, трамвайний, тролейбусний і легкорейковий транспорт. Орієнтовний парк становить 600–900 транспортних засобів, а добовий пасажиропотік – 350–500 тис. поїздок. Управління транспортною політикою здійснюється єдиним міським транспортним органом, однак у сценарії передбачено інтероперабельність із регіональною залізницею в межах єдиної

тарифної зони.

Поточний стан системи оплати характеризується використанням closed-loop платіжної системи, що експлуатується протягом 12–15 років. Вона базується на пропрієтарних безконтактних транспортних картках зі збереженою вартістю, локальній back-office інфраструктурі та обмеженій інтеграції з банківськими платіжними інструментами. Обслуговування системи здійснюється в межах контракту з єдиним постачальником, завершення якого очікується протягом найближчих 24 місяців, що створює умови для Brown-field переходу та потребу в аудиті спадкової архітектури, контрактних обмежень і міграційних ризиків.

Цільова архітектура передбачає перехід до open-loop / АВТ моделі з підтримкою банківських безконтактних карток EMV та мобільних гаманців як інструментів оплати поїздки. Водночас сценарій зберігає пропрієтарний носій для пільгових категорій пасажирів і готівковий канал для unbanked-сегмента через ритейл-партнерів, а також передбачає інтероперабельність з регіональною залізницею, fare capping, мобільний застосунок для пасажирської підтримки та персональний обліковий запис пасажирів.

Фінансові та регуляторні обмеження сценарію передбачають комбіноване фінансування: близько 60 % з муніципального бюджету та близько 40 % з регіонального фонду публічного транспорту в межах трирічного циклу. Регуляторне середовище вимагає збереження готівкового каналу оплати, а також дотримання вимог PCI DSS і GDPR. Цільовий горизонт впровадження становить 24–30 місяців, а тривалість Hypercare – 60–90 днів; ці значення розглядаються як параметри сценарного Calibration Log, а не як універсальні нормативи методології RG-HLM.

Стейкхолдерна структура сценарію включає транспортного оператора як відповідального за експлуатацію системи, транспортний орган або міську владу як власника транспортної політики, регіональний транспортний фонд як фінансового партнера, регіональну залізничну компанію як партнера з інтероперабельності, банк-еквайєр і платіжну схему як платіжних партнерів,

інтегратора як технічного виконавця, а також регулятора фінансових послуг і орган із захисту персональних даних. За сукупністю характеристик сценарій попередньо відповідає Base configuration з окремими ознаками Extended configuration, оскільки наявність регіонального партнера створює елементи мультистейкхолдерної координації, але ключові рішення залишаються переважно в межах міського транспортного органу.

Першим методологічним кроком застосування RG-HLM до сценарного проєкту є зіставлення поточного стану AS-IS з цільовим станом TO-BE. Таке зіставлення необхідне для виявлення основних розривів, які мають бути враховані під час формування TCS Profile, активації module sets та подальшого застосування Lifecycle Core. Узагальнений gap-аналіз AS-IS / TO-BE для обраного сценарію подано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Ключові розриви AS-IS / TO-BE для сценарного проєкту

Аспект	AS-IS	TO-BE на основі RG-HLM	Управлінський розрив
Архітектура платіжного контуру	Closed-loop система, пропріетарні транспортні картки, локальна back-office інфраструктура	Open-loop / АБТ з підтримкою банківських карток і мобільних гаманців; збережений closed-loop канал для пільгових категорій; cash-fallback	Необхідний архітектурний перехід, Brown-field міграція та застосування Dual Architecture Pattern
Legacy-середовище	Система експлуатується 12–15 років і залежить від контракту з єдиним постачальником	Phase 0 Inheritance Audit, Contract Escape Map, Coexistence Strategy	Потрібне кероване опрацювання технічної, контрактної та організаційної спадщини
Етапна структура життєвого циклу	Лінійна логіка «планування – закупівля – монтаж – запуск»	Phase 0 – Phase 5, Gate - 1 – Gate 5, Hypercare та Hypercare Exit Gate	Відсутня предметно адаптована структура життєвого циклу транспортного платіжного ІТ-проєкту
Критерії переходу між фазами	Переходи здебільшого спираються на календарні milestones та адміністративні рішення	Vector Readiness Profile, Domain Floor Rule, gate-критерії за вісьмома доменами готовності	Існує ризик передчасного переходу між фазами без достатнього evidence

Кінець таблиці 4.1

Аспект	AS-IS	TO-BE на основі RG-HLM	Управлінський розрив
Pilot-to-Scale механізм	Пілот розглядається як демонстрація, а масштабування – як продовження монтажу	Pilot Evidence Package, Scale Readiness Gate, Rollout Wave Plan	Відсутня формалізована логіка переходу від пілота до масштабування
Governance	Двостороння модель «замовник – підрядник»; Steering Committee має переважно формальний характер	Multi-stakeholder Steering Committee, RACI v1, Gate Decision Log	Недостатньо структурована мультистейкхолдерна координація та розподіл відповідальності
Equity / доступність	Пільгові тарифи, готівка та доступність для unbanked-сегмента розглядаються як зовнішні policy-обмеження	Fare Justice Loop, Equity Access Score, Dual Architecture Pattern, Anti-Evasion KPI Set	Equity-вимоги недостатньо інтегровані в управління життєвим циклом проєкту
Зовнішні залежності	Контракти з банками, еквайєрами, платіжними схемами та регіональним оператором розглядаються як assumptions	External Dependency Register, Dependency SLA / Commitment Map, Time-boxed Gate Protocol	Недооцінюється ризик затримок через зовнішні SLA-залежності
Постзапускова стабілізація	Go-live фактично ототожнюється із завершенням проєкту; Hypercare відсутній або не формалізований	Hypercare як окремий постзапусковий режим; Hypercare Exit Gate; Operational Handover Package	Існує ризик виявлення прихованих дефектів після запуску без належного управлінського контуру

За результатами картування зафіксовано ключові гар-позиції, які формують достатній сценарний контекст для демонстраційного застосування RG-HLM. Виявлені розриви охоплюють не лише технічний перехід від closed-loop до open-loop / ABT, а й управлінські аспекти життєвого циклу: legacy-аудит, readiness-критерії, Pilot-to-Scale перехід, equity-вимір, зовнішні залежності та постзапускову стабілізацію. Саме ці характеристики роблять сценарій придатним для демонстрації основних механізмів RG-HLM.

Обраний сценарій є репрезентативним для поширеного класу європейських проєктів модернізації транспортних платіжних систем у середньо-

великих містах. За масштабом, структурою стейкхолдерів, наявністю legacy closed-loop системи, потребою open-loop / АВТ переходу, вимогами до інтероперабельності та необхідністю збереження інклюзивних каналів оплати він відображає умови, у яких може виникати потреба в спеціалізованій методології RG-HLM. Водночас сценарій не охоплює всі можливі класи транспортних платіжних впроваджень: він не моделює великі федеративні системи з високою автономією учасників і не відображає малі агентства, для яких доцільним може бути спрощений framework-based підхід. Отже, сценарій є достатнім для демонстрації логіки RG-HLM у межах базового класу складності, але не підміняє окрему перевірку методології для Micro, Extended або Federated configuration.

4.2 Конфігурування RG-HLM для сценарного проєкту

Конфігурування методології RG-HLM для сценарного проєкту виконується на основі результатів AS-IS / TO-BE аналізу, наведеного в підрозділі 4.1. Метою цього етапу є перехід від опису вихідної ситуації до визначення конкретної конфігурації методології, активованих module sets та сценарних параметрів Calibration Log. Такий підхід дає змогу не застосовувати RG-HLM як статичну універсальну схему, а налаштувати її відповідно до масштабу, архітектурної складності, стейкхолдерної структури, legacy-обмежень, equity-вимог і регуляторного середовища сценарного проєкту.

На першому етапі сформовано TCS Profile сценарного проєкту. Профіль побудовано за чотирнадцятьма параметрами TCS, об'єднаними в чотири категорії: Scale & Architecture, Stakeholder & Governance, Legacy & Migration, Equity, Security & Constraints. Оцінювання виконано за шкалою від 1 до 4, де більше значення відповідає вищому рівню складності або чутливості відповідного параметра. TCS Profile сценарного проєкту подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – TCS Profile сценарного проєкту

Параметр	Оцінка (1-4)	Сценарне обґрунтування
A1 Scale of operation	3	Місто має 600–900 транспортних засобів і 350–500 тис. поїздок на добу, що відповідає значному, але не максимальному масштабу
A2 Number of operators	2	Основним учасником є один муніципальний транспортний оператор, однак передбачена інтероперабельність із регіональною залізницею
A3 Architectural complexity	3	Сценарій передбачає multi-vendor stack: валідатори, back-office, банк-еквайєр, платіжна схема, інтегратор і регіональна інтероперабельна платформа
A4 Modal scope	3	Мережа охоплює автобус, трамвай, тролейбус, легкорейковий транспорт і регіональну залізницю в межах єдиної тарифної зони
B1 Governance fragmentation	2	Ключові рішення залишаються в межах міського транспортного органу, але наявний регіональний фінансовий та інтероперабельний контур
B2 Funding structure	3	Фінансування поєднує муніципальний бюджет і регіональний фонд публічного транспорту, що ускладнює бюджетне планування
B3 Regulatory intensity	3	Сценарій передбачає дотримання PCI DSS, GDPR, вимог щодо готівкової альтернативи та локального тарифного регулювання
B4 Political volatility	2	Місто має прогнозований політичний цикл без жорсткого зовнішнього дедлайну запуску
C1 Legacy system depth	3	Поточна closed-loop система експлуатується 12–15 років і має власну back-office інфраструктуру
C2 Contract entanglement	3	Чинний контракт з єдиним інтегратором завершується протягом 24 місяців, що створює міграційні та контрактні обмеження
C3 Data migration scope	2	Міграція охоплює тарифні правила, дані пасажирів і concession-реєстри, але не передбачає надкритичного обсягу історичних даних
D1 Equity sensitivity	3	Регуляторно вимагається збереження готівкового каналу, присутній unbanked / underbanked-сегмент і розгалужена пільгова політика
D2 Cyber criticality	3	Система не класифікується як критична інфраструктура національного рівня, але підпадає під посилені вимоги PCI DSS і GDPR
D3 Time pressure	2	Горизонт 24–30 місяців є напруженим, але не містить критичного зовнішнього політичного дедлайну

На основі наведених значень виконано агрегування TCS: часткові оцінки за категоріями наведено у формулах (4.1)–(4.4), а інтегральне значення – у формулі (4.5).

Для категорії Scale & Architecture отримано:

$$S_A = \frac{3 + 2 + 3 + 3}{4} = 2,75. \quad (4.1)$$

Для категорії Stakeholder & Governance отримано:

$$S_B = \frac{2 + 3 + 3 + 2}{4} = 2,50. \quad (4.2)$$

Для категорії Legacy & Migration отримано:

$$S_C = \frac{3 + 3 + 2}{3} = \frac{8}{3} \approx 2,67. \quad (4.3)$$

Для категорії Equity, Security & Constraints отримано:

$$S_D = \frac{3 + 3 + 2}{3} = \frac{8}{3} \approx 2,67. \quad (4.4)$$

У сценарному Calibration Log для первинної демонстрації застосовано рівний розподіл ваг між категоріями:

$$w_A = w_B = w_C = w_D = 0,25.$$

Інтегральне значення TCS для сценарного проєкту становить:

$$TCS = 0,25 \cdot 2,75 + 0,25 \cdot 2,50 + 0,25 \cdot 2,67 + 0,25 \cdot 2,67 \approx 2,65. \quad (4.5)$$

Отримане за формулою (4.5) значення відповідає рівню Medium-High у межах сценарного Calibration Log. Водночас вибір конфігурації RG-HLM не визначається лише інтегральним значенням TCS, оскільки методологія додатково враховує floor signals за окремими параметрами. Для сценарного проєкту активними є два ключові сигнали: Legacy Floor, оскільки C1 = 3, та Equity Floor, оскільки D1 = 3. Federation Floor не активується, оскільки B1 = 2; Cyber Floor не активується, оскільки D2 = 3 не досягає рівня Critical; Time Floor не активується, оскільки D3 = 2; Political/Fiscal Floor не активується, оскільки B4 = 2.

На основі TCS Profile застосовано Configuration Engine за алгоритмом C-M-A-C. Узагальнений результат конфігурування подано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результат конфігурування RG-HLM для сценарного проєкту

Етап Configuration Engine	Результат для сценарного проєкту	Управлінське значення
Categorize	TCS = 2,65; категорії A = 2,75, B = 2,50, C = 2,67, D = 2,67	Сценарій має середньо-високу складність із підвищеними legacy- та equity-обмеженнями
Match	Обрано Base configuration	Федеративна конфігурація не потрібна, оскільки ключові рішення залишаються в межах міського транспортного органу
Activate	Активовано Brown-field і Equity-heavy module sets	Методологія має врахувати спадкову closed-loop архітектуру, контрактні обмеження, пільгові сценарії та готівковий канал
Calibrate	Сформовано сценарний Calibration Log	Встановлено параметри фаз, gate-рішень, floor-значень, ваг доменів, RSI threshold і Hypercare

За результатами Configuration Engine для сценарного проєкту визначено таку конфігурацію застосування RG-HLM:

Base configuration + module sets {Brown-field, Equity-heavy}.

Цей результат є важливим, оскільки сценарій не потребує повної Federated configuration, але не може бути оброблений як просте стандартне впровадження. Наявність legacy closed-loop системи, контрактної залежності від чинного постачальника, вимоги збереження готівкового каналу та пільгових сценаріїв обумовлює необхідність активації саме Brown-field і Equity-heavy module sets.

Сценарний Calibration Log фіксує параметри, необхідні для подальшого застосування Lifecycle Core і Vector Readiness Profile. Ці параметри не є універсальними нормативами RG-HLM, а використовуються як налаштування для конкретного демонстраційного сценарію. Скорочений фрагмент Calibration Log подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Ключові параметри Calibration Log сценарного проєкту

Параметр	Значення	Підстава вибору
Тривалість Phase 0 (Inheritance Audit)	8 тижнів	Brown-field активований, наявність активного контракту з legacy-вендором потребує детального опрацювання Contract Escape Map.
Тривалість Phase 4 (Pilot)	12 тижнів	Достатньо для накопичення сезонної варіації пасажиропотоку і повного циклу settlement з банками-еквайерами.
Тривалість Hypercare	75 днів	Середина проміжку 60–90 днів, визначеного сценарієм; відображає помірну складність системи.
Time-box gate review	10 робочих днів	Стандартне значення для конфігурації Base; відповідає циклу підготовки evidence для Steering Committee.
Ваги доменів VRP (D1...D8)	0,16 / 0,14 / 0,12 / 0,12 / 0,10 / 0,14 / 0,12 / 0,10 ($\Sigma=1,00$)	АНР+Delphi 4-ітераційне узгодження; D1 і D6 підвищено через активацію Equity-heavy і Brown-field.
Floor значення (D1...D8)	0,75 / 0,75 / 0,70 / 0,75 / 0,70 / 0,75 / 0,75 / 0,70	D6 і D2 підвищено через регуляторні вимоги до equity і PCI DSS.

Кінець таблиці 4.4

Параметр	Значення	Підстава вибору
RSI threshold для Go рішення на Gate 4	$\geq 0,80$	Достатньо консервативно для Scale Readiness; нижче – Conditional Go з Watch List.
λ (time-decay) для D7 Cyber	0,003 на день ($\approx 30\%$ знецінення за 100 днів)	Регулярні оновлення PCI DSS і GDPR-практики; швидка еволюція загроз.
λ (time-decay) для D4 Governance	0,001 на день ($\approx 10\%$ знецінення за 100 днів)	Стабільна governance-структура з регулярним RACI-оглядом.
α (вага EAS у FJB)	0,60	Equity-heavy module set; підвищений пріоритет інклюзивності.
β (вага RLRI у FJB)	0,40	Stakeholder-вимога зберегти контроль витоку доходів; розрахункова збалансованість з α .

Таким чином, було виконано повний цикл конфігурування RG-HLM для сценарного проєкту: сформовано TCS Profile, визначено інтегральний рівень складності, перевірено floor signals, обрано Base configuration, активовано Brown-field і Equity-heavy module sets, а також зафіксовано ключові параметри Calibration Log. Отримана конфігурація є вхідною основою для подальшого застосування Lifecycle Core та оцінювання готовності сценарного проєкту на Gate 4.

4.3 Застосування Lifecycle Core та оцінювання Gate 4

Після визначення конфігурації методології RG-HLM до сценарного проєкту застосовано Lifecycle Core у складі Phase 0 – Phase 5, Hypercare, Gate - 1 – Gate 5 та Hypercare Exit Gate. Така структура відповідає складності сценарію, наявності legacy closed-loop архітектури, зовнішніх залежностей, equity-вимог і необхідності контрольованого переходу від пілота до масштабування.

На відміну від лінійної логіки «планування – закупівля – монтаж – запуск», RG-HLM розглядає впровадження як послідовність контрольованих фазових переходів. Для кожної фази визначаються очікувані результати, evidence для gate

review, умови переходу та можливі управлінські рішення. Узагальнене застосування Lifecycle Core до сценарного проєкту подано в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Застосування Lifecycle Core до сценарного проєкту

Фаза / gate	Застосування у сценарному проєкті	Рішення / результат
Phase 0 Inheritance Audit / Gate -1	Проведено аудит technical, contractual, organizational та regulatory inheritance. Зафіксовано 12-річну closed-loop архітектуру, обмежену API-зрілість, контракт із legacy-вендором і вимогу збереження готівкового каналу	Conditional Go з умовами: фіналізація Contract Escape Strategy, підтвердження GDPR-конфігурації, узгодження інтероперабельності з регіональним залізничним оператором
Phase 1 Strategic Initiation / Gate 1	Підтверджено vision, governance charter, RACI v1 і business case на 7-річному горизонті. Сформовано Steering Committee за участю міського транспортного органу, оператора, регіонального фонду та регіонального залізничного партнера	Go
Phase 2 Architecture & Procurement / Gate 2	Обрано multi-vendor підхід; окремо визначено постачальників валідаторів, back-office tariff engine і mobile app. Сформовано External Dependency Register v1 із 27 залежностями	Conditional Go з Watch Item щодо фіналізації API-специфікації з регіональним залізничним оператором
Phase 3 Build & Lab Test / Gate 3	Реалізовано поетапну інтеграцію за логікою Strangler Fig Integration. Затверджено PCI DSS baseline і GDPR DPIA. Watch Item з Gate 2 закрито	Go
Phase 4 Pilot / Gate 4	Проведено 12-тижневий пілот на автобусному коридорі, що охоплює близько 10 % пасажиропотоку. Перевірено open-loop EMV, closed-loop concession і cash-fallback. Сформовано Pilot Evidence Package	Conditional Go до хвилевого масштабування через Floor Approach Alert у домені D6 Equity Readiness
Phase 5 Scale Rollout / Gate 5	Масштабування виконано через Wave Plan: Wave 0, Wave 1, Wave 2 і Wave 3 із поступовим розширенням покриття до повної мережі та регіональної залізниці	Кожну хвилю закрито Wave Gate з рішенням Continue
Hypercare / Hypercare Exit Gate	Передбачено 75 днів посиленої операційної підтримки із поступовим передаванням відповідальності операційній команді	Conditional Go з 30-денним консультативним вікном для проєктної команди

Наведена послідовність демонструє, що RG-HLM не обмежується формальним поділом проєкту на етапи, а встановлює логіку доказового проходження між фазами. Особливо важливим для сценарного проєкту є Gate 4, оскільки саме на цьому етапі приймається рішення про перехід від пілота до масштабування. Помилка на цьому gate може призвести до rollout недостатньо готової системи, тому для його оцінювання застосовано Vector Readiness Profile.

Gate 4, або Scale Readiness Gate, оцінює готовність сценарного проєкту за вісьмома доменами: Technical Readiness, Integration Readiness, Operational Readiness, Governance Readiness, Financial Readiness, Equity Readiness, Cyber Readiness та External Dependencies. Оцінювання виконано на основі Pilot Evidence Package з урахуванням floor-значень і ваг, визначених у Calibration Log. Результати оцінювання подано в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Vector Readiness Profile сценарного проєкту на Gate 4

Домен	Оцінка $s_i(t)$	Floor	Вага w_i	Перевірка floor
D1 Technical Readiness	0,86	0,75	0,16	OK (0,86 > 0,75)
D2 Integration Readiness	0,82	0,75	0,14	OK (0,82 > 0,75)
D3 Operational Readiness	0,79	0,70	0,12	OK (0,79 > 0,70)
D4 Governance Readiness	0,84	0,75	0,12	OK (0,84 > 0,75)
D5 Financial Readiness	0,81	0,70	0,10	OK (0,81 > 0,70)
D6 Equity Readiness	0,77	0,75	0,14	OK, але близько до floor
D7 Cyber Readiness	0,83	0,75	0,12	OK (0,83 > 0,75)
D8 External Dependencies	0,78	0,70	0,10	OK (0,78 > 0,70)

Перевірка Domain Floor Rule показує, що всі домени задовольняють мінімальну умову готовності за формулою (4.6):

$$s_i(t) \geq \text{floor}_i. \quad (4.6)$$

де $s_i(t)$ – оцінка готовності i -го домена на момент gate review;

floor_i – мінімально допустиме значення готовності i -го домена.

Найменший запас відносно мінімального рівня зафіксовано для D6 Equity Readiness за формулою (4.7):

$$m(D6) = 0,77 - 0,75 = 0,02. \quad (4.7)$$

де $m(D6)$ – запас готовності домена D6 відносно встановленого мінімального рівня;

0,77 – оцінка готовності домена D6 на момент Gate 4;

0,75 – мінімально допустиме значення готовності домена D6.

Отримане значення $m(D6) = 0,02$ активує Floor Approach Alert, визначений у підрозділі 3.9.5. Такий алерт не блокує рішення про масштабування, але потребує включення відповідного домена до Watch List перед запуском наступної хвили rollout.

Зважену агрегацію доменних оцінок виконано за формулою (4.8):

$$RSI = \sum_{i=1}^8 w_i \cdot s_i(t). \quad (4.8)$$

де RSI – Readiness Synthesis Index;

w_i – вага i -го домена;

$s_i(t)$ – оцінка готовності i -го домена на момент gate review.

Для сценарного проєкту отримано:

$$RSI = 0,8144.$$

Порогове значення Calibration Log для Go-рішення на Gate 4 становить $RSI \geq 0,80$. Отже, агрегований показник $RSI = 0,8144$ перевищує встановлений поріг. Проте наявність Floor Approach Alert для D6 Equity Readiness не дає підстав для безумовного Go-рішення, оскільки методологія RG-HLM поєднує агреговане оцінювання з некомпенсаторною перевіркою критичних доменів.

Continuous Readiness Monitoring виявив один активний алерт – Floor

Approach Alert для D6 з $\text{margin} = 0,02$. Інших алертів не зафіксовано. Time-decay перерахунок не виявив суттєвого знецінення evidence, оскільки всі ключові evidence є свіжішими за 60 днів. External Dependency Register не містить активних блокерів: основні залежності з банком-еквайєром, платіжною схемою та регіональним залізничним оператором перебувають у межах tolerance, визначеної в Calibration Log.

Рішення Gate 4 для сценарного проєкту – Conditional Go. Підставами для такого рішення є проходження всіма доменами Domain Floor Rule, перевищення агрегованим показником $\text{RSI} = 0,8144$ порогового значення 0,80, а також наявність одного активного Floor Approach Alert у домені D6 Equity Readiness.

До Watch List для Conditional Go включено три коригувальні заходи для Wave 0:

- удосконалення concession registration flow у mobile app;
- розширення мережі retail-партнерів для cash-fallback на 12 точок;
- проведення тренінгу операторів пасажирської підтримки за сценаріями для unbanked-сегмента.

Закриття Watch List має бути виконане до Wave 1 Gate. Це означає, що масштабування не блокується повністю, але наступний етап rollout дозволяється лише за умови адресного посилення equity-виміру.

Отриманий результат демонструє прикладну роль Vector Readiness Profile у методології RG-HLM. Рішення про масштабування приймається не лише за агрегованим скалярним показником, а через поєднання векторного профілю, Domain Floor Rule, Calibration Log threshold і Continuous Readiness Monitoring. За відсутності Domain Floor Rule значення $\text{RSI} = 0,8144$ могло б створити формальну підставу для безумовного Go-рішення, тоді як близькість D6 Equity Readiness до мінімального рівня залишилася б недостатньо помітною. Саме тому некомпенсаторна логіка оцінювання є важливою для запобігання post-go-live equity-ризикам у транспортних платіжних впровадженнях.

4.4 Управлінські артефакти та простежуваність результатів апробації

Застосування методології RG-HLM до сценарного проєкту формує взаємопов'язаний набір управлінських артефактів, які супроводжують проєкт від первинної діагностики контексту до gate-рішень, масштабування та постзапускової стабілізації. У межах сценарної апробації ці артефакти виконують не лише документувальну, а й управлінську функцію: вони фіксують вхідний контекст, результати конфігурування методології, параметри калібрування, evidence для прийняття gate decisions, зовнішні залежності, рішення щодо rollout та умови передавання системи в операційну експлуатацію.

Повний інвентар управлінських артефактів доцільно винести до додатків, щоб не перевантажувати основний текст допоміжними шаблонами. У межах розділу 4 важливішим є не перелік усіх форм, а демонстрація логіки їх взаємозв'язку. Структуру основних управлінських артефактів RG-HLM у формі шаблонів з ключовими полями наведено в додатках Б–Д. Для сценарного проєкту основний потік артефактів має такий вигляд:

- TCS Profile;
- Configuration Decision Log;
- Calibration Log;
- Vector Readiness Profile;
- Gate Decision Log;
- Wave Plan;
- Operational Handover Package.

Допоміжними артефактами, які впливають на цей потік, є Inheritance Audit Package, External Dependency Register, Pilot Evidence Package, Service KPI Catalogue, а також показники Fare Justice Loop, зокрема Equity Access Score, Revenue Leakage Risk Index і Fare Justice Balance. Вони не існують ізольовано, а подають evidence або параметри для ключових управлінських рішень.

TCS Profile фіксує вихідний контекст сценарного проєкту та створює основу для роботи Configuration Engine. Результатом Configuration Engine є вибір базової конфігурації RG-HLM і набір активованих module sets, що фіксується у Configuration Decision Log. Calibration Log доповнює це рішення конкретними сценарними параметрами: вагами доменів, floor-значеннями, тривалостями фаз, пороговим значенням RSI, time-boxes і параметрами Fare Justice Balance.

Vector Readiness Profile використовується під час gate reviews для оцінювання готовності за вісьмома доменами. Його результатом є векторна оцінка готовності, перевірка Domain Floor Rule, агрегований показник RSI та попереджувальні сигнали Continuous Readiness Monitoring. Gate Decision Log фіксує прийняті рішення, їх обґрунтування, умови переходу, Watch List і відповідальних за закриття умов. Для Phase 5 використовується Wave Plan, який структурує масштабування за хвилями, а для переходу до Hypercare Exit Gate – Operational Handover Package, що підтверджує готовність операційної команди до самостійного супроводу системи. Структуру Vector Readiness Profile, Gate Decision Log та Operational Handover Package наведено у таблицях В.1, В.2 додатка В і Г.2 додатка Г відповідно.

Таким чином, артефакти RG-HLM забезпечують простежуваність рішень від первинної діагностики сценарію до постзапускової стабілізації. Це зменшує ризик прийняття gate decisions на основі неповного evidence, неузгоджених припущень або адміністративного тиску строків. У сценарному проєкті саме зв'язок між TCS Profile, Calibration Log, Vector Readiness Profile і Gate Decision Log дозволив прийняти рішення Conditional Go на Gate 4 не лише за агрегованим показником RSI, а й з урахуванням близькості D6 Equity Readiness до мінімального floor-рівня.

Оцінювання практичної придатності RG-HLM у межах сценарної апробації виконано через перевірку простежуваності між дослідницькими прогалинами, вимогами до спеціалізованої методології, компонентами RG-HLM і точками їх демонстрації у сценарному проєкті. Узагальнену Traceability Matrix подано в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Traceability Matrix результатів сценарної апробації RG-HLM

Прогалина / вимога	Компонент RG-HLM	Демонстрація у сценарному проєкті
Відсутність предметно адаптованої структури життєвого циклу транспортного платіжного IT-проєкту	Lifecycle Core: Phase 0 – Phase 5, Gate -1 – Gate 5, Hypercare та Hypercare Exit Gate	Застосовано повний життєвий цикл: Phase 0 Inheritance Audit, Strategic Initiation, Architecture & Procurement, Build & Lab Test, Pilot, Scale Rollout і Hypercare
Відсутність формалізованої адаптації методології до контексту проєкту	TCS Profile, Configuration Engine, Module Activation Matrix	Сформовано TCS Profile з 14 параметрами; визначено Base configuration; активовано Brown-field і Equity-heavy module sets
Відсутність галузевоспецифічних readiness criteria	Vector Readiness Profile, Domain Floor Rule, Calibration Log threshold	На Gate 4 оцінено готовність за вісьмома доменами; усі домени пройшли floor-перевірку; розраховано RSI = 0,8144
Неформалізованість переходу від пілота до масштабування	Pilot Evidence Package, Scale Readiness Gate, Rollout Wave Plan	На Gate 4 прийнято рішення Conditional Go; масштабування структуровано через Wave Plan із поетапним rollout
Відсутність окремої постзапускової стабілізації	Hypercare, Hypercare Exit Gate, Operational Handover Package	Для сценарного проєкту визначено Hypercare тривалістю 75 днів; передбачено Hypercare Exit Gate і 30-денне консультативне вікно
Недостатня структурованість governance та розподілу відповідальності	Steering Committee, RACI v1, Gate Decision Log	Сформовано Steering Committee за участю міського транспортного органу, транспортного оператора, регіонального фонду та регіонального залізничного партнера; gate-рішення фіксуються через Gate Decision Log
Недостатнє управління зовнішніми залежностями	External Dependency Register, Dependency SLA / Commitment Map, Time-boxed Gate Protocol	External Dependency Register містить 27 залежностей у категоріях banking, regulatory, technical та adjacent operators; залежності враховано під час Gate 2 і Gate 4
Недостатня інтеграція equity-вимірів у життєвий цикл проєкту	Fare Justice Loop, Equity Access Score, Revenue Leakage Risk Index, Fare Justice Balance, Dual Architecture Pattern	Активовано Equity-heavy module set; D6 Equity Readiness на Gate 4 має значення 0,77 із margin 0,02 до floor; до Watch List включено заходи щодо concession flow, cash-fallback і підтримки unbanked-сегмента

Кінець таблиці 4.7

Прогалина / вимога	Компонент RG-HLM	Демонстрація у сценарному проєкті
Кіберстійкість як вимір постійної операційної готовності	Cyber Readiness domain, Evidence Renewal logic, Cyber-Resilience Operating Model для критичних сценаріїв	Cyber-critical module set не активовано, оскільки D2 має рівень Significant, а не Critical; кіберготовність враховано через D7 Cyber Readiness у Vector Readiness Profile
Політико-фінансові ризики як потенційний контур впливу на життєвий цикл	Political/Fiscal Shock Management Framework, Scope Reprioritization Matrix, Stakeholder Recommitment Protocol	Political/Fiscal module set не активовано, оскільки B4 має рівень Moderate; відповідний ризик зафіксовано як контрольований параметр TCS Profile

Наведена Traceability Matrix показує, що RG-HLM у сценарній апробації подана не як сукупність окремих артефактів, а як узгоджена методологічна конструкція. Кожен ключовий компонент має визначене походження в дослідницькій прогалині або вимозі до спеціалізованої методології, а також конкретну точку демонстрації у сценарному проєкті.

Важливо, що матриця не створює твердження про повну емпіричну ефективність RG-HLM. Вона фіксує інше: у межах контрольованого сценарію методологія здатна забезпечити логічний перехід від аналізу контексту до вибору конфігурації, gate-оцінювання, прийняття рішення про масштабування та підготовки постзапускової стабілізації. Отже, практична придатність RG-HLM у цьому розділі підтверджується на рівні внутрішньої узгодженості, покриття сформульованих вимог і демонстраційної застосовності, але не підміняє подальшу емпіричну валідацію на реальних проєктах.

4.5 Оцінювання придатності, обмеження та напрями подальшого розвитку RG-HLM

Оцінювання придатності методології RG-HLM у межах цієї роботи має демонстраційний характер. Його метою є не доведення повної емпіричної

ефективності методології на реальному впровадженні, а перевірка її внутрішньої узгодженості, відповідності сформульованим вимогам, логічної застосовності до сценарного проєкту та визначення меж подальшої валідації. Такий підхід відповідає логіці Design Science Research, у межах якої розроблений артефакт спочатку проходить демонстрацію та аналітичне оцінювання, а вже потім потребує ширшого експертного й польового підтвердження.

Оцінювання RG-HLM виконано на кількох рівнях. По-перше, перевірено процедурну узгодженість методології через послідовність: TCS Profile – Configuration Engine – Calibration Log – Lifecycle Core – Vector Readiness Profile – Gate Decision. По-друге, у підрозділі 4.4 показано простежуваність між дослідницькими прогалинами, вимогами, компонентами RG-HLM і точками їх демонстрації у сценарному проєкті. По-третє, продемонстровано прикладне застосування методології на узагальненому сценарії європейського міста середнього розміру. Узагальнений статус оцінювання за логікою DSR подано в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Статус оцінювання RG-HLM за логікою Design Science Research

Форма оцінювання	Статус у роботі	Реалізація або подальша потреба
Internal consistency check	Реалізовано	Перевірено термінологічну, артефактну та процедурну узгодженість RG-HLM. Процедурна логіка підтверджена послідовністю TCS Profile – Configuration Engine – Calibration Log – Vector Readiness Profile – Gate Decision
Requirement and traceability coverage analysis	Реалізовано	У підрозділі 4.4 показано зв'язок між дослідницькими прогалинами, вимогами, компонентами RG-HLM і точками демонстрації у сценарному проєкті
Demonstration on illustrative scenario	Реалізовано	RG-HLM застосовано до узагальненого сценарію open-loop / АВТ впровадження: сформовано TCS Profile, визначено конфігурацію, активовано module sets, застосовано Lifecycle Core і виконано оцінювання Gate 4

Кінець таблиці 4.8

Форма оцінювання	Статус у роботі	Реалізація або подальша потреба
Retrospective consistency check	Частково реалізовано	Окремі рішення RG-HLM узгоджені з емпіричними патернами, виявленими під час аналізу кейсів MBTA AFC 2.0, Modernising myki та OVRau; повна ретроспективна перевірка потребує ширшої бази кейсів
Expert review	Частково реалізовано	Методологічні результати апробовано в академічному середовищі; повноцінний експертний перегляд має бути виконаний із залученням представників транспортних операторів, інтеграторів, регуляторів і платіжних партнерів
Field application and calibration	Не реалізовано	Польове застосування RG-HLM у реальному проєкті не виконувалося; цей етап є основним напрямом подальшої емпіричної перевірки та калібрування методології

Наведений статус оцінювання показує, що в межах цієї кваліфікаційної роботи реалізовано ті форми перевірки, які є досяжними без доступу до реального проєктного середовища: внутрішня логічна перевірка, покриття вимог, сценарна демонстрація та часткове зіставлення з відкритими кейсами. Водночас такі форми не замінюють повну емпіричну валідацію. Тому результати розділу 4 слід інтерпретувати як обґрунтування та демонстрацію методологічного артефакту, а не як остаточний доказ його ефективності в усіх можливих умовах застосування.

Окремо слід визначити позицію RG-HLM щодо традиційних підходів до управління проєктами та системної інженерії. Методологія RG-HLM не розглядається як заміна PMBOK, PRINCE2, Agile, Stage-Gate, ISO/IEC/IEEE 15288 або підходів INCOSE. Її доцільно трактувати як предметно-специфічне розширення, яке може застосовуватися поверх наявних управлінських практик організації для класу ІТ-проєктів впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Порівняльну позицію RG-HLM щодо традиційних підходів подано в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Порівняльна матриця RG-HLM з традиційними підходами

Критерій	PMBOK Guide 8th Edition	PRINCE2 7	Agile	Stage -Gate	ISO/IEC/IEEE 15288	INCOSE	RG-HLM
Адаптована до транспортного платіжного контексту фазова структура	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Загальний рівень	Загальний рівень	Lifecycle Core: Phase 0 – Phase 5 + Hypercare
Галузево-специфічні readiness criteria	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Vector Readiness Profile за вісьмома доменами + Domain Floor Rule
Формалізований Pilot-to-Scale механізм	Концептуальний рівень	Н/ф	Н/ф	Stage-Gate логіка	Н/ф	Н/ф	Pilot Evidence Package + Scale Readiness Gate + Rollout Wave Plan
Виокремлена фаза постзапускової стабілізації	Н/ф	Вбудовано в stage control	Н/ф	Н/ф	Operations and Maintenance	Operations	Hypercare як окрема фаза + Hypercare Exit Gate
Мультистейкхолдерне governance	Tailoring	Project Board	Н/ф	Н/ф	Stakeholders	Stakeholders	Steering Committee + RACI; Interagency Decision Board у Federated configuration
Соціально-тарифна рівновага та equity-вимір	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Fare Justice Loop: EAS, RLRI, FJB + Dual Architecture Pattern
Управління зовнішніми залежностями як структурний контур	Risks	Risks	Н/ф	Н/ф	Обмежено	Stakeholders	External Dependency Register + SLA/Commitment Map + Time-boxed Gate Protocol
Кіберстійкість як continuous capability	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Compliance	Security	Cyber-Resilience Operating Model: Evidence Renewal, Incident Escalation, Threat Watch
Маніпуляційно-стійке оцінювання	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Експертно-орієнтоване зважування + Weight Freeze + Metric Gaming Incident Register
Time-decay для evidence	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Н/ф	Time-decay evidence model

Н/ф – не формалізовано предметно для транспортного платіжного ІТ-проєкту.

Порівняльна матриця показує, що традиційні підходи забезпечують важливу методологічну основу: PMBOK підтримує tailoring та ціннісно-орієнтоване управління, PRINCE2 формалізує керованість проєкту через business case і stage control, Agile забезпечує ітеративну розробку продукту, Stage-Gate акцентує увагу на контрольних переходах, ISO/IEC/IEEE 15288 описує логіку життєвого циклу систем, а INCOSE Systems Engineering Handbook посилює системно-інженерний вимір.

Водночас у межах розглянутих критеріїв ці підходи не формують повної предметної методології для управління життєвим циклом транспортного платіжного впровадження з урахуванням legacy-аудиту, readiness-профілю, equity-вимірів, зовнішніх залежностей, переходу від пілота до масштабування та постзапускової стабілізації.

Отже, RG-HLM позиціонується як додатковий методологічний шар, який може застосовуватися разом із наявними стандартами та практиками управління проєктами. Методологічний внесок RG-HLM полягає у формалізації елементів, критичних саме для транспортних платіжних ІТ-проєктів: конфігурування методології за контекстом, evidence-based gate decisions, readiness-оцінювання, контроль зовнішніх залежностей, соціально-тарифний баланс, операційна стабілізація та підготовка до масштабування.

Оцінювання практичної придатності RG-HLM має низку обмежень, пов'язаних із характером сценарної апробації, межами предметної області, сценарним калібруванням параметрів і відсутністю повного польового застосування.

Ці обмеження не заперечують методологічну цілісність RG-HLM, але визначають межі коректного трактування отриманих результатів. Основні обмеження та відповідні напрями подальшого розвитку подано в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Обмеження демонстраційної апробації та напрями подальшого розвитку RG-HLM

Обмеження	Вплив на інтерпретацію результатів	Напрямок подальшого розвитку
Сценарний характер апробації	Результати показують логічну застосовність RG-HLM на узагальненому сценарії, але не доводять її ефективність у реальних організаційних умовах	Провести польове застосування RG-HLM на реальних проєктах модернізації транспортних платіжних систем
Відсутність повного польового застосування	Артефакти RG-HLM не проходили повний цикл використання від Phase 0 до Hypercare Exit Gate у реальному проєкті	Задokumentувати фактичне використання TCS Profile, Configuration Decision Log, Calibration Log, gate-рішень і Hypercare у двох-трьох реальних проєктах
Сценарне калібрування параметрів	Ваги доменів, floor-значення, RSI threshold, λ для time-decay та параметри α / β не можуть розглядатися як універсальні нормативи	Виконати емпіричне калібрування параметрів Calibration Log на основі реальних кейсів і експертного перегляду
Перевірка однієї конфігурації RG-HLM	У роботі продемонстровано Base configuration з активованими Brown-field і Equity-heavy module sets; інші конфігурації не перевірено	Підготувати окремі сценарії або кейси для Micro, Extended і Federated configuration
Обмежений експертний перегляд	Академічна апробація не замінює структурованого перегляду методології фахівцями-практиками	Провести Delphi-перегляд із залученням менеджерів транспортних IT-проєктів, інтеграторів, банків-еквайєрів, регуляторів і представників транспортних операторів
Обмеження предметної області	Методологія орієнтована на міський і регіональний громадський транспорт у межах транспортно-платіжної інфраструктури; перенесення на інші сфери потребує окремої перевірки	Дослідити можливість адаптації RG-HLM до Mobility-as-a-Service, магістрального залізничного транспорту, мультиоператорних екосистем та інших інфраструктурних IT-проєктів
Відсутність програмної підтримки	Практичне застосування RG-HLM може бути трудомістким без інструменту для ведення TCS Profile, Calibration Log і gate-рішень	Розробити прикладний програмний інструмент для введення TCS Profile, перевірки floor signals, визначення конфігурації, генерації Configuration Decision Log і підтримки Calibration Log

Перспективним напрямом також є інструменталізація RG-HLM у вигляді програмного засобу для підтримки конфігурування методології та gate-оцінювання. Такий інструмент може автоматизувати введення параметрів TCS Profile, перевірку floor signals, формування Configuration Decision Log, ведення Calibration Log, розрахунок Vector Readiness Profile і підготовку Gate Decision Log. Це підвищило б практичну придатність RG-HLM для використання проєктними командами в реальних умовах.

Отже, було показано, що RG-HLM є внутрішньо узгодженою та логічно застосовною методологією для сценарного класу транспортних платіжних ІТ-проєктів. Сценарна апробація підтверджує здатність методології структурувати контекст проєкту, визначати конфігурацію, активувати релевантні module sets, підтримувати evidence-based gate decisions і формалізувати перехід від пілота до масштабування та постзапускової стабілізації. Водночас отримані результати мають трактуватися як демонстраційне підтвердження придатності методологічного артефакту, а не як завершена емпірична валідація. Подальша перевірка RG-HLM потребує польового застосування, накопичення кейсів, експертного перегляду та програмної підтримки для практичного використання Configuration Engine і Calibration Log.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи досліджено проблему управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Встановлено, що такі проєкти не можуть розглядатися лише як технічне впровадження нового способу оплати, оскільки поєднують транспортний, платіжний, інформаційний, організаційний, тарифний, регуляторний, кібербезпековий та експлуатаційний контури.

У процесі аналізу предметної області визначено ключові управлінські проблеми транспортних платіжних впроваджень: складність інтеграції з legacy-системами, залежність від зовнішніх платіжних і технологічних учасників, фрагментованість governance, недостатню формалізацію переходу від пілота до масштабування, відсутність чітко виокремленого постзапускового режиму стабілізації та ризик виключення окремих категорій пасажирів у разі некерованого переходу до open-loop / Account-Based Ticketing архітектури.

Проведений аналіз PMBOK, PRINCE2, Agile-підходів, ISO/IEC/IEEE 15288, INCOSE Systems Engineering Handbook, Stage-Gate та галузевих практик показав, що ці підходи формують важливу методологічну основу, однак у межах розглянутих критеріїв не забезпечують повного покриття потреб досліджуваного класу проєктів. Загальні РМ-методології залишаються галузево-нейтральними, системно-інженерні підходи не деталізують транспортний платіжний контекст, а галузеві практики переважно мають описовий або case-specific характер. Це обґрунтувало потребу в спеціалізованій методології управління життєвим циклом транспортного платіжного ІТ-проєкту.

За результатами дослідження розроблено методологію Readiness-Gated Hybrid Lifecycle Methodology (RG-HLM), призначену для управління життєвим циклом ІТ-проєктів впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в

транспортних системах. RG-HLM позиціонується як предметно-специфічне розширення наявних підходів управління проєктами та системної інженерії, а не як їх заміна. Методологія поєднує інваріантне фазове ядро, контекстну адаптацію, readiness-gated контроль, систему управлінських артефактів, модульну активацію спеціалізованих механізмів і постзапускову стабілізацію.

Основними складовими RG-HLM є Transport Context Score, Configuration Engine C-M-A-C, Lifecycle Core, Vector Readiness Profile, Domain Floor Rule, Pilot-to-Scale Readiness Framework, Fare Justice Loop, External Dependency Register, Hypercare Exit Gate та набір ризикових module sets. Transport Context Score забезпечує формалізовану діагностику контексту проєкту, Configuration Engine перетворює контекстний профіль на конфігурацію методології, а Vector Readiness Profile і Domain Floor Rule дають змогу оцінювати готовність переходів між фазами без компенсаторного приховування критичних розривів.

Наукова новизна роботи полягає у формалізації адаптивно-модульної методології управління життєвим циклом транспортного платіжного ІТ-проєкту. У роботі запропоновано поєднання контекстної діагностики, конфігураційного механізму, readiness-gated lifecycle-логіки, некомпенсаторного оцінювання готовності, управління переходом від пілота до масштабування та постзапускової стабілізації. Дістали подальший розвиток підходи до управління зовнішніми залежностями, соціально-тарифною рівновагою, кіберстійкістю та мультистейкхолдерним governance у транспортних платіжних впровадженнях.

Демонстраційну апробацію RG-HLM виконано на узагальненому сценарії впровадження open-loop / Account-Based Ticketing рішення в середньо-великому європейському місті. У межах апробації сформовано TCS Profile, застосовано Configuration Engine, визначено Base configuration з активованими Brown-field та Equity-heavy module sets, підготовлено Calibration Log і продемонстровано логіку оцінювання готовності на Scale Readiness Gate. Отримані результати показали, що RG-HLM забезпечує послідовний перехід від аналізу контексту до вибору конфігурації, активації module sets, оцінювання готовності та формування

обґрунтованого gate-рішення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання RG-HLM як управлінської рамки для підготовки, планування, контролю та оцінювання проєктів модернізації систем оплати громадського транспорту. Окремі артефакти методології, зокрема TCS Worksheet, Module Activation Matrix, Calibration Log, Vector Readiness Profile, Pilot Evidence Package, External Dependency Register, Time-boxed Gate Protocol та Operational Handover Package, можуть застосовуватися як самостійні інструменти в межах наявних PMBOK-, PRINCE2-, ISO/IEC/IEEE 15288- або INCOSE-орієнтованих процесів.

Основні положення дослідження апробовано через підготовку наукових матеріалів за тематикою кваліфікаційної роботи [17–19]. Водночас результати роботи мають визначені обмеження: демонстраційну апробацію проведено на узагальненому сценарії, числові параметри Calibration Log мають сценарний характер, а повний цикл польового застосування RG-HLM у реальному проєкті ще потребує подальшої перевірки.

Подальший розвиток RG-HLM доцільно спрямувати на емпіричне калібрування методології в реальних транспортних платіжних проєктах, структурований експертний перегляд із залученням транспортних операторів, інтеграторів, регуляторів і платіжних партнерів, перевірку Micro, Extended та Federated configuration, а також створення програмної підтримки Configuration Engine, Vector Readiness Profile і Calibration Log.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. UITP. Demystifying ticketing and payment in public transport : Report. Brussels : International Association of Public Transport, 2020. 56 p. URL: https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/04/Report-Ticketing_NOV2020_update.pdf (дата звернення: 06.04.2026).

2. UITP. Open-Loop Payment in Public Transport : Implementation Roadmap. Part 1 : Strategic Vision and Concept Outline / author A. Soehnchen. Brussels : International Association of Public Transport, 2024. 36 p. URL: https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/04/OpenLoopForum_ImplementationRoadmap_step1.pdf (дата звернення: 07.04.2026).

3. World Bank Group. Public Transport Automatic Fare Collection Interoperability : Assessing Options for Poland : Phase 2. Washington, DC : World Bank, 2016. 116 p. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/564001469009916441/pdf/107014-WP-P148489-PUBLIC-Phase-2-Public-Transport-AFC-Interop.pdf> (дата звернення: 08.04.2026).

4. On the Move : Delivering Automated Fare Collection / Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF) ; European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Washington, DC : PPIAF, 2017. 56 p. URL: https://www.ppiaf.org/sites/default/files/documents/2018-01/896_IPPF_Paper_on_automated_fare_collection_web_FINAL.PDF (дата звернення: 09.04.2026).

5. Federal Transit Administration. Mobility Payment Integration : State-of-the-Practice Scan. Washington, DC : FTA, 2018. 120 p. URL: <https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/research-innovation/134056/mobility-payment-integration-state-practice-scan-508.pdf> (дата

звернення: 10.04.2026).

6. European Commission, DG MOVE. Study on Public Transport Smartcards : Final Report. Brussels : European Commission, 2011. 248 p. URL: <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2011-07-14-final-report-smartcards.pdf> (дата звернення: 11.04.2026).

7. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management. 7th ed. Newtown Square, PA : PMI, 2021. 370 p. ISBN 978-1-62825-664-2.

8. INCOSE Systems Engineering Handbook : A Guide for System Life Cycle Processes and Activities / ed. by D. D. Walden, T. M. Shortell, G. J. Roedler, B. A. Delicado, O. Mornas, Yip Yew-Seng, D. Endler ; International Council on Systems Engineering. 5th ed. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2023. 368 p. ISBN 978-1-119-81429-0.

9. Cooper R. G. The Stage-Gate Idea-to-Launch System for New-Product Development. Research-Technology Management. 2008. Vol. 51, Iss. 3. P. 47–58. DOI: 10.1080/08956308.2008.11657469.

10. Dream ticket? The challenges and opportunities of delivering smart ticketing in the city regions / Urban Transport Group (UTG) ; SYSTRA. Leeds : Urban Transport Group, 2022. 48 p. URL: <https://www.urbantransportgroup.org/sites/default/files/content-library/dream-ticket.pdf> (дата звернення: 12.04.2026).

11. Brown A., Brakewood C., Hipp J. A. Un- and Underbanked Transit Passengers and the California Integrated Travel Project : Research Report / National Center for Sustainable Transportation (NCST) ; University of California, Davis. Davis, CA : UC Davis, 2022. 25 p. URL: <https://escholarship.org/content/qt8hb738wd/qt8hb738wd.pdf> (дата звернення: 13.04.2026).

12. Pike S., Turner K., Chin S., Nguyen A. Open to Open-Loop : Payments Challenges for Public Transit. Findings. 2024. 25 January. P. 1–6. DOI:

10.32866/001c.115437. URL: <https://findingspress.org/article/115437-open-to-open-loop-payments-challenges-for-public-transit> (дата звернення: 14.04.2026).

13. Federal Transit Administration. Creative Procurements to Improve Transit Cost and Effectiveness : Report No. FTA-0186. Washington, DC : FTA, 2021. 80 p. URL: <https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/2021-02/FTA-Report-No-0186.pdf> (дата звернення: 15.04.2026).

14. Tomer A., Loh T. H. How better payment systems can improve public transportation [Електронний ресурс] / Brookings Institution. Washington, DC : Brookings, 2023. URL: <https://www.brookings.edu/articles/how-better-payment-systems-can-improve-public-transportation/> (дата звернення: 16.04.2026).

15. Golub A., Brown A., Brakewood C., MacArthur J., Lee S., Ziedan A. Equity and exclusion issues in cashless fare payment systems for public transportation. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2022. Vol. 15. Art. 100628. DOI: 10.1016/j.trip.2022.100628.

16. MBTA Fare Transformation : Program Status [Електронний ресурс] / Massachusetts Bay Transportation Authority. Boston, MA : MBTA, 2024. URL: <https://www.mbta.com/projects/fare-transformation> (дата звернення: 17.04.2026).

17. Нісков О. М., Білова Т. Г. Гібридний підхід до управління життєвим циклом масштабованої модульної платформи міських сервісів. Research in Science, Technology and Economics : Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference, Luxembourg, May 28–30, 2025. Luxembourg : International Scientific Unity, 2025. С. 223–224.

18. Білова Т. Г., Нісков О. М., Побіженко І. О. Гібридна модель управління життєвим циклом ІТ-проєкту впровадження безконтактної платіжної інфраструктури в транспортних системах. Наука і техніка сьогодні. Серія «Техніка». 2026. № 4(58). С. 2782–2795. DOI: 10.52058/2786-6025-2026-4(58)-2782-2795.

19. Нісков О. М. Аналіз моделей управління життєвим циклом ІТ-проєктів впровадження безконтактної оплати в транспорті. Радіоелектроніка та молодь у

XXI столітті : матеріали XXX Міжнародного молодіжного форуму, Харків, 2026 р. Харків : ХНУРЕ, 2026. Т. 6. С. 210–212.

20. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management. 8th ed. Newtown Square, PA : PMI, 2025. 408 p. ISBN 978-1-62825-829-5.

21. PRINCE2 7 : Managing Successful Projects / AXELOS ; PeopleCert. 7th ed. London : PeopleCert International Ltd., 2023. 342 p. ISBN 978-9925-34-460-4.

22. Beck K., Beedle M., van Bennekum A., Cockburn A., Cunningham W., Fowler M. et al. Manifesto for Agile Software Development [Електронний ресурс]. 2001. URL: <https://agilemanifesto.org/> (дата звернення: 18.04.2026).

23. Leyba A. C. G., Rana M. Q., Salazar A. M., Saini M., Oladinrin O. T., Lee A. Deploying the Hybrid Project Management Methodology Framework in Major Transportation Projects in the United Kingdom. Journal of Architectural Engineering Technology. 2024. Vol. 13, Iss. 2. P. 1–14. URL: <https://pearl.plymouth.ac.uk/> (дата звернення: 19.04.2026).

24. ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and software engineering — System life cycle processes. 2nd ed. Geneva : ISO, 2023. 116 p. URL: <https://www.iso.org/standard/81702.html> (дата звернення: 20.04.2026).

25. Cooper R. G. Perspective : The Stage-Gate Idea-to-Launch Process — Update, What's New, and NexGen Systems. Journal of Product Innovation Management. 2008. Vol. 25, Iss. 3. P. 213–232. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2008.00296.x.

26. Heumesser P. Structuring and Managing New Product Development : A Review on the Evolution of the Stage-Gate Model. Journal of Business Chemistry. 2024. Vol. 21, Iss. 1. P. 18–34.

27. Federal Transit Administration. Project and Construction Management Guidelines [Електронний ресурс]. Washington, DC : FTA, 2025. URL: <https://www.transit.dot.gov/funding/grantee-resources/project-and-construction-mgmt-guidelines> (дата звернення: 21.04.2026).

28. Inter-American Development Bank. Future of Fare Media in AFC Systems : Report. Washington, DC : IADB, 2020. URL: <https://publications.iadb.org/en/future-fare-media-automated-fare-collection-systems> (дата звернення: 22.04.2026).

29. American Public Transportation Association. Open Data and Open Loop Payments Standards for Transit. Washington, DC : APTA, 2025. URL: <https://www.apta.com/research-technical-resources/standards/> (дата звернення: 23.04.2026).

30. Mucha D., Knapčíková L., Husár J., Hrehová S. A Proposal for the Account-Based Ticketing Application in Passenger Transport in the Slovak Republic : A Case Study. Sustainability. 2020. Vol. 12, Iss. 12. Art. 5088. DOI: 10.3390/su12125088.

31. Gil E. M., Vallejo A. C. Account-Based Ticketing Integration for Seamless Multi-Modal Transport in Smart Cities. SCRD Journal. 2024. Vol. 8, Iss. 1. P. 112–128.

32. World Bank ; Sub-Saharan Africa Transport Policy Program (SSATP). Innovation in Fare Collection Systems for Public Transport in African Cities. Washington, DC : World Bank, 2021. URL: https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publication/SSATP_AFCS%20in%20African%20cities_Final.pdf (дата звернення: 24.04.2026).

33. Borges R., Sebé F. A Reusable Public Transport Electronic Ticket System with Fast Validation. Public Transport. 2025. DOI: 10.1007/s12469-025-00362-3.

34. UITP. Advancing Digital Transformation in Public Transport with a Digital Mindset : Action Points. Brussels : International Association of Public Transport, 2025. URL: https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/08/20250825_Digital-Mindset_Action-Points_WEB.pdf (дата звернення: 26.04.2026).

35. Clark J., Marin G., Ariffin M., Eaves S., Mariani L., Saxena D. Digital Public Infrastructure and Development : A World Bank Group Approach. Washington, DC : World Bank Group, 2025. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099031025172027713/pdf/P505739-84c5073b-9d40-4b83-a211-98b2263e87dd.pdf> (дата звернення: 26.04.2026).

36. World Bank. Mobility-as-a-Service : Governing Innovation and Multimodality in Urban Transport : LUTP Module. Washington, DC : World Bank, 2024. URL:

<https://thedocs.worldbank.org/en/doc/9cb81b76c8a83cd502c346146dce26bd-0090062024/original/Mobility-as-a-Services-NewTrends.pdf> (дата звернення: 27.04.2026).

37. Littlepay. Fare Collection Procurement — Designed to Fail : Analytical White Paper [Електронний ресурс]. 2025. URL: <https://littlepay.com/resource-hub/blog/articles/fare-collection-procurement-designed-to-fail/> (дата звернення: 28.04.2026).

38. L.E.K. Consulting. Second-Generation Fare Collection Systems : Current State of Play [Електронний ресурс]. 2025. URL: <https://www.lek.com/insights/ei/second-generation-fare-collection-systems-current-state-play> (дата звернення: 29.04.2026).

39. Mastercard. Open-Loop Mobility Systems : Driving the Future of Urban Transportation in the Nordics and Baltics : White Paper. 2025. URL: <https://www.mastercard.com/news/media/vz4egfl5/open-loop-payments-for-mobility-sector-whitepaper.pdf> (дата звернення: 30.04.2026).

40. Visa. What Happens When Open Loop Ticketing Goes Nationwide : OVpay Case [Електронний ресурс]. 2024. URL: <https://corporate.visa.com/en/sites/visa-perspectives/innovation/open-loop-ticketing-nationwide.html> (дата звернення: 01.05.2026).

41. Victorian Auditor-General's Office. Modernising myki : Independent Assurance Report to Parliament 2025–26:13. Melbourne : VAGO, 2026. URL: https://www.parliament.vic.gov.au/494b73/globalassets/taled-paper-documents/taled-paper-10052/20260318_modernising-myki.pdf (дата звернення: 01.05.2026).

42. Transport for Greater Manchester. New fares will be introduced in Greater Manchester to make train travel simpler : Press Release [Електронний ресурс] / Bee

Network. 2025. URL: <https://news.tfgm.com/press-releases/52a3641c-f160-4a7a-b56d-9db87fec7def/> (дата звернення: 02.05.2026).

43. Meyer A. D., Tsui A. S., Hinings C. R. Configurational Approaches to Organizational Analysis. *Academy of Management Journal*. 1993. Vol. 36, № 6. P. 1175–1195. DOI: 10.2307/256809.

44. Henderson-Sellers B., Ralyté J., Ågerfalk P. J., Rossi M. *Situational Method Engineering*. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2014. 310 p. DOI: 10.1007/978-3-642-41467-1. ISBN 978-3-642-41467-1.

45. Fowler M. StranglerFigApplication [Електронний ресурс] // martinfowler.com : blog post. 29 June 2004. URL: <https://martinfowler.com/bliki/StranglerFigApplication.html> (дата звернення: 03.05.2026).

46. Pike S. Open-loop payment preferences in public transit : Exploring alternatives to cash for unbanked riders. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2025. Vol. 34. Art. 101652. DOI: 10.1016/j.trip.2025.101652.

47. California Integrated Travel Project (Cal-ITP). Increasing Use of Contactless Payments by Transit Riders. Sacramento, CA : Caltrans, 2024. URL: <https://resources.calitp.org/calitp/Cal-ITP.Increasing.Contactless.Payments.by.Transit.Riders.pdf> (дата звернення: 04.05.2026).

48. UC Davis ; National Center for Sustainable Transportation. Open-Loop Payment Preferences in Public Transit : Exploring Alternatives to Cash for Unbanked Riders : Policy Brief [Електронний ресурс]. Davis, CA : NCST, 2025. URL: <https://ncst.ucdavis.edu/research-product/open-loop-payment-preferences-public-transit-exploring-alternatives-cash-unbanked> (дата звернення: 05.05.2026).

49. Leveraging Open-Loop Fare Payments to Increase Financial Inclusion : Report / UC Berkeley Transportation Sustainability Research Center. Berkeley, CA : UC Berkeley TSRC, 2024. URL: <https://escholarship.org/content/qt88v9c0wm/qt88v9c0wm.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).

06.05.2026).

50. PCI Security Standards Council. Payment Card Industry Data Security Standard : Requirements and Testing Procedures. Version 4.0.1. Wakefield, MA : PCI SSC, 2024. URL: https://www.pcisecuritystandards.org/document_library/ (дата звернення: 06.05.2026).

51. National Institute of Standards and Technology. The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0 : NIST Cybersecurity White Paper CSWP 29. Gaithersburg, MD : NIST, 2024. 32 p. DOI: 10.6028/NIST.CSWP.29.

52. National Institute of Standards and Technology. Transit Cybersecurity Framework Community Profile : NIST IR 8576 (Initial Public Draft). Gaithersburg, MD : NIST, 2026. DOI: 10.6028/NIST.IR.8576.ipd.

53. Virginia Department of Transportation. Project Pipeline Program Guide 2025–26 : Appendix H — Readiness Gates. Richmond, VA : VDOT, 2026. URL: https://vapipeline.virginia.gov/media/va-project-pipeline/documents/Project-Pipeline-Program-Guide-2025-26_acc03062025_PM.pdf (дата звернення: 07.05.2026).

54. Cooper R. G. Winning at New Products : Creating Value Through Innovation. 5th ed. New York : Basic Books, 2017. 448 p. ISBN 978-0-465-09333-2.

55. Cooper R. G. The drivers of success in new-product development. Industrial Marketing Management. 2019. Vol. 76. P. 36–47. DOI: 10.1016/j.indmarman.2018.07.005.

56. Cooper R. G. Stage-Gate Systems : A New Tool for Managing New Products. Business Horizons. 1990. Vol. 33, № 3. P. 44–54. DOI: 10.1016/0007-6813(90)90040-I.

57. Greco S., Ehrgott M., Figueira J. R. (Eds.) Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art Surveys. 2nd ed. New York : Springer, 2016. 1346 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-3094-4. ISBN 978-1-4939-3093-7.

58. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York : McGraw-Hill, 1980. 287 p. ISBN 978-0-07-054371-3.

59. Linstone H. A., Turoff M. (Eds.) The Delphi Method : Techniques and Applications. Reading, MA : Addison-Wesley, 1975. 620 p. ISBN 978-0-201-04294-8.
60. Masabi. The Future of Fare Collection in 2026 : 10 Trends Transforming Transit Ticketing and Payments [Электронный ресурс]. 2026. URL: <https://blog.masabi.com/blog/the-future-of-fare-collection-in-2026-10-trends-transforming-transit-ticketing-and-payments> (дата звернення: 08.05.2026).
61. Mamakou X. J., Karavida E., Yannacopoulos D., Cardoso E. Post-implementation evaluation of enterprise resource planning (ERP) systems : an internal auditors' perspective. Journal of Systems and Information Technology. 2024. Vol. 26, № 3. P. 363–390. DOI: 10.1108/JSIT-11-2023-0264.
62. United Nations. Office of Internal Oversight Services. Internal Audit Division Report 2024/011 : Audit of post-go-live support. New York : OIOS, 2024.
63. Schoemaker E., Kirk T. Multi-Stakeholder Governance for Digital Public Infrastructure / Caribou Digital. 2025. URL: <https://caribou.global/wp-content/uploads/2025/10/Multi-Stakeholder-Governance-for-Digital-Public-Infrastructure-1.pdf> (дата звернення: 09.05.2026).
64. LIAISON Project. Dynamic Multi-Infrastructure Governance Framework (DMIGF) : Deliverable D1.1. EU Horizon, 2025. URL: <https://liaison-transport.eu/news-releases/a-new-dynamic-governance-framework-for-multimodal-transport-infrastructure/> (дата звернення: 10.05.2026).