

ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРАВА «КРОК»»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Тема: «Впровадження Agile-технологій в авіаційну індустрію на
прикладі компанії Boeing»

Ступінь вищої освіти – магістр

Спеціальність – 073 «Менеджмент»

Освітня програма «Agile-технології розробки програмного забезпечення»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Керівники: завідувач кафедри інформаційного
менеджменту, математики та
статистики, доцент, к.е.н.
Денис БАЛДИК

Виконав: здобувач
групи МЕН/Agile-24м
Петро РЕМБОХА

Засвідчую, що кваліфікаційна
робота оформлена відповідно до
ДСТУ 3008:2015 та не містить
запозичень з праць інших
авторів без відповідних
посилань.

Здобувач: _____
(підпис)

Київ, 2026 р.

**ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРАВА «КРОК»**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедри інформаційного
менеджменту, математики та
статистики

_____ Денис БАЛДИК
«28» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
*Рембоха Петро Петрович***

Тема роботи	Впровадження Agile-технологій в авіаційну індустрію на прикладі компанії Boeing
Номер та дата наказу про затвердження теми	№ 109-2 від 14 жовтня 2025 р.
Коротка постановка завдання	Розробка практичних рекомендацій щодо впровадження Agile-технологій в інженерні підрозділи авіаційної промисловості на прикладі компанії Boeing, з урахуванням особливостей організаційної структури, технічної складності процесів та нормативного середовища.
Посилання на джерела інформації (не більше п'яти найменувань, які рекомендує науковий керівник)	RTCA DO-178C. Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. Washington : RTCA, Inc., 2011. 116 p. Hanssen G. K., Dybå T., Mozelius P. Agile Software Development in Safety-Critical Software Development // 39th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications. Santander : IEEE, 2013. P. 297–304. Kniberg H. Kanban and Scrum: Making the Most of Both. Raleigh : Lulu.com, 2010. Sutherland J. Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. New York: Crown Business, 2014. Чумаченко І. В., Доценко Н. В. Управління проектами : підручник. Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2020. 364 с.
Вимоги до кваліфікаційної роботи	Кваліфікаційна робота має містити теоретичне та/або практичне дослідження за темою роботи, яку слід розглядати як складне спеціалізоване завдання або практичну проблематику в галузі управління та адміністрування, яка характеризується комплексністю та невизначеністю умов і потребує застосування Agile-технологій.

Дата видачі завдання «27» жовтня 2025 р.

Керівник

Денис БАЛДИК

Здобувач

Петро РЕМБОХА

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання	Примітка
Підготовчий етап			
1	Вибір напрямку дослідження та керівника.	01.09.2025 р.	<i>виконано</i>
2	Формування теми та призначення керівника.	22.09.2025 р.	<i>виконано</i>
3	Затвердження теми кваліфікаційної роботи.	09.10.2025 р.	<i>виконано</i>
4	Затвердження завдання на кваліфікаційну роботу.	27.10.2025 р.	<i>виконано</i>
Основний етап			
5	Розробка концепції кваліфікаційної роботи.	06.11.2025 р.	<i>виконано</i>
6	Підбір та вивчення джерел інформації з напрямку дослідження. Огляд існуючих аналогів.	08.11.2025 р.	<i>виконано</i>
7	Теоретико-методичний аналіз предметної області та розширена постановка завдання. Підготовка та подання керівнику розділу 1 кваліфікаційної роботи.	13.11.2025 р.	<i>виконано</i>
8	Дослідницько-аналітична робота. Підготовка та подання керівнику розділу 2 кваліфікаційної роботи.	20.11.2025 р.	<i>виконано</i>
9	Розробка рекомендацій щодо вдосконалення управління із застосуванням Agile-технологій. Підготовка та подання керівнику розділу 3 кваліфікаційної роботи.	27.11.2025 р.	<i>виконано</i>
10	Підготовка та подання керівнику першого варіанту всієї кваліфікаційної роботи.	01.12.2025 р.	<i>виконано</i>
11	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника та представлення керівнику доопрацьованого варіанту кваліфікаційної роботи	03.12.2025 р.	<i>виконано</i>
Завершальний етап			
12	Представлення рукопису для перевірки на плагіат.	08.12.2025 р.	<i>виконано</i>
13	Підготовка презентації та доповіді на передзахист.	22.12.2025 р.	<i>виконано</i>
14	Передзахист кваліфікаційної роботи.	23-24.12.2025 р.	<i>виконано</i>
15	Технічна самоекспертиза роботи на відповідність вимогам до оформлення та виправлення недоліків.	12-16.01.2026 р.	<i>виконано</i>
16	Експертиза роботи керівником та зовнішнім експертом (рецензентом).	20.01.2026 р.	<i>виконано</i>
17	Доопрацювання доповіді та презентації для захисту.	22.01.2026 р.	<i>виконано</i>
18	Захист кваліфікаційної роботи.	26-30.01.2026 р.	<i>виконано</i>

Керівник

Денис БАЛДИК

Здобувач

Петро РЕМБОХА

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ AGILE В АВІАЦІЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	10
1.1 Теоретичні основи Agile та специфіка його адаптації до інженерних процесів	10
1.2 Аналіз нормативної бази, стандартів та регуляторних вимог в авіаційній галузі	16
1.3 Світовий досвід та кращі практики застосування Agile провідними авіабудівними компаніями	20
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2 ДІАГНОСТИКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНЖЕНЕРНОГО ПІДРОЗДІЛУ	26
2.1 Організаційно-економічна характеристика та опис процесів інженерного підрозділу.....	26
2.2 Аналіз ефективності комунікацій та існуючого інструментарію управління (ЕТАС).....	32
2.3 Дослідження ключових проблем та організаційних бар'єрів, бюрократизація та втрати часу	36
Висновки до розділу 2.....	40
РОЗДІЛ 3 ТРАНСФОРМАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПІДРОЗДІЛОМ НА ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ AGILE.....	42
3.1 Розробка гібридної моделі управління (Scrum/Kanban) для інженерного підрозділу.....	42
3.2 Модель поетапного впровадження Agile-трансформації та дорожня карта змін.....	47
3.3 Оцінка ризиків та економічне обґрунтування ефективності запропонованих рішень.....	52
Висновки до розділу 3.....	58
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

АНОТАЦІЯ

Рембоха П.П. «Впровадження Agile-технологій в авіаційну індустрію на прикладі компанії Boeing»

У кваліфікаційній роботі здійснено комплексне дослідження проблематики імплементації гнучких методологій управління (Agile) у високорегламентоване середовище авіаційної інженерії на прикладі компанії Boeing. Проаналізовано специфіку інженерних процесів при розробці компонентів літаків (зокрема моделі 787) та виявлено конфлікт між традиційними каскадними підходами (Waterfall/V-Model) та потребою у швидкій адаптації до змін. На основі аналізу роботи інженерного підрозділу (8 осіб), що використовує систему ETAC, ідентифіковано ключові проблеми: розрив комунікації, бюрократичні затримки (високий Wait Time) та неефективне планування. Розроблено гібридну модель трансформації, що поєднує Scrum (для ритмічності) та Kanban (для візуалізації потоку), запропоновано систему КРІ та розраховано економічний ефект від скорочення циклу розробки.

Ключові слова: Agile, Scrum, Kanban, авіаційна промисловість, інженерний менеджмент, Boeing, ETAC, трансформація процесів, V-Model.

ANNOTATION

Rembokha P.P. "Implementation of Agile technologies in the aviation industry using Boeing as an example"

The master's thesis presents a comprehensive study on the implementation of Agile management methodologies in the highly regulated environment of aviation engineering, using Boeing as a case study. The specifics of engineering processes in aircraft component development (specifically the 787 model) are analyzed, revealing the conflict between traditional cascade approaches (Waterfall/V-Model) and the need for rapid adaptation to change. Based on the analysis of an engineering unit (8 people) using the ETAC system, key problems were identified: communication gaps, bureaucratic delays (high Wait Time), and inefficient planning. A hybrid transformation model combining Scrum (for rhythm) and Kanban (for flow visualization) is developed, a KPI system is proposed, and the economic effect of reducing the development cycle is calculated.

Key words: Agile, Scrum, Kanban, aviation industry, engineering management, Boeing, ETAC, process transformation, V-Model.

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком цифрових технологій, ускладненням архітектури повітряних суден та підвищенням вимог до швидкості виведення продуктів на ринок (Time-to-Market). Традиційні ієрархічні моделі управління, такі як каскадна модель (Waterfall) та V-подібна модель, які історично забезпечували високий рівень контролю якості та безпеки, дедалі частіше демонструють свою негнучкість та інертність. В умовах, коли зміни технічних вимог можуть відбуватися на пізніх етапах розробки, жорстке слідування попередньо затвердженим планам призводить до значних фінансових втрат та затримок проєктів. У цьому контексті методологія Agile, що довела свою ефективність у сфері розробки програмного забезпечення, розглядається як перспективний інструмент для оптимізації інженерних та виробничих процесів у високотехнологічних галузях.

Компанія Boeing, як один із лідерів світової авіабудівної галузі, стикається з викликами масштабування, бюрократизації та необхідності підтримки інноваційного темпу в умовах жорсткого регуляторного тиску (FAA, EASA). Інженерні підрозділи компанії, зокрема ті, що відповідають за розробку інтер'єрів та систем життєзабезпечення літаків серії 787, потребують нових підходів до управління завданнями, які б дозволяли поєднати гнучкість Agile з вимогами до безпеки та документації.

Метою роботи є розробка та обґрунтування практичних рекомендацій щодо впровадження адаптованих Agile-технологій в діяльність інженерних підрозділів авіаційної промисловості (на прикладі компанії Boeing) для підвищення ефективності управлінських процесів.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- здійснити теоретичний аналіз принципів Agile та особливостей їх застосування у традиційних інженерних середовищах;
- визначити специфіку нормативного регулювання в авіації (стандарти DO-178C, ARP4754A) та його вплив на гнучкість процесів;

- провести діагностику поточної системи управління в інженерному підрозділі Boeing (аналіз структури, комунікацій, використання системи ETAC);
- ідентифікувати ключові бар'єри ефективності, зокрема рівень бюрократизації та співвідношення часу очікування до часу виконання завдань;
- розробити модель Agile-трансформації на основі гібридного підходу (Scrumban), адаптованого до потреб інженерної команди;
- запропонувати інструментарій для оптимізації трекінгу завдань та візуалізації робочого потоку;
- оцінити ризики впровадження та розрахувати економічну ефективність запропонованих змін.

Об'єкт дослідження - процеси управління розробкою та проектуванням компонентів у інженерних підрозділах авіабудівних підприємств.

Предмет дослідження - методи та інструменти Agile-трансформації організаційно-управлінської діяльності інженерного підрозділу компанії Boeing.

У роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних **методів**: системний аналіз (для дослідження структури управління), порівняльний аналіз (для зіставлення методологій Waterfall та Agile), метод спостереження та інтерв'ювання (для аналізу роботи команди), графічний метод (для візуалізації процесів), а також методи економічного моделювання (для розрахунку ефективності).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні можливості та доцільності застосування гібридних Agile-підходів у суворо регламентованому середовищі авіаційної інженерії без порушення вимог стандартів безпеки, а також у розробці адаптивної моделі взаємодії інженерної команди через синхронізацію системи ETAC з візуальними Kanban-дошками.

Практична значущість роботи полягає у розробці конкретних рекомендацій щодо впровадження Agile-технологій в інженерні підрозділи авіаційних компаній, з урахуванням особливостей структури, регламентів та

складності виробничих процесів. Запропонована модель трансформації може бути використана для підвищення ефективності управління завданнями, покращення комунікації в командах, зменшення бюрократичного навантаження та оптимізації процесів розробки й впровадження інженерних рішень. Результати дослідження можуть бути застосовані не лише у межах компанії Boeing, а й в інших високотехнологічних підприємствах, які прагнуть підвищити адаптивність та гнучкість у роботі.

Основні теоретичні положення та практичні рекомендації роботи пройшли **апробацію** шляхом імітаційного моделювання на матеріалах інженерного підрозділу компанії Boeing, який займається розробкою компонентів інтер'єру літака Boeing 787 Dreamliner. Зокрема, на прикладі реального виробничого кейсу з проектування зони відпочинку екіпажу було змодельовано процес переходу до гібридної методології Scrumban. Результати моделювання підтвердили можливість скорочення середнього циклу виконання завдань на 50% без порушення технологічного процесу. Особливу увагу було приділено валідації запропонованої дорожньої карти трансформації на відповідність міжнародним авіаційним стандартам, що діють у компанії (DO-178C, AS9100). У ході дослідження доведено, що інтеграція Agile-ритуалів не суперечить вимогам до сертифікації авіаційної техніки та забезпечує необхідний рівень контролю якості.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів та висновків, викладених на 62 сторінках основного тексту. Матеріали кваліфікаційної роботи містять 15 таблиць і 8 рисунків. Список використаних джерел складається із 49 найменувань, які розміщено на 4 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ AGILE В АВІАЦІЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Теоретичні основи Agile та специфіка його адаптації до інженерних процесів

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується високим рівнем турбулентності, стрімкою зміною технологічних укладів та зростанням вимог споживачів до швидкості виведення нових продуктів на ринок. В умовах такої невизначеності традиційні детерміністські моделі управління проектами, зокрема каскадні («Waterfall»), які домінували в інженерії протягом останніх десятиліть, дедалі частіше демонструють свою обмеженість. Жорстке довгострокове планування, характерне для цих моделей, часто призводить до значних перевитрат бюджету, зриву термінів та, що найкритичніше, - до створення продукту, який на момент виходу на ринок вже не відповідає актуальним потребам замовника [1; 2].

У високотехнологічних галузях, таких як авіабудування, де вартість помилки є надзвичайно високою, а цикли розробки можуть тривати роками, потреба в зміні управлінської парадигми стала очевидною. Відповіддю на ці виклики стала методологія Agile - набір принципів та підходів, що базуються на гнучкій адаптації до змін, ітеративному підході до створення цінності та тісній співпраці в команді [3; 4]. Концептуальну відмінність між цими підходами наведено на рис. 1.1.

Хоча Agile як філософія зародився в індустрії розробки програмного забезпечення (Software Engineering), його фундаментальні принципи виявилися універсальними та масштабованими. Сьогодні вони активно інтегруються в "тверду" інженерію (Systems Engineering) та виробничі процеси, трансформуючи підходи до створення складних технічних систем [5].

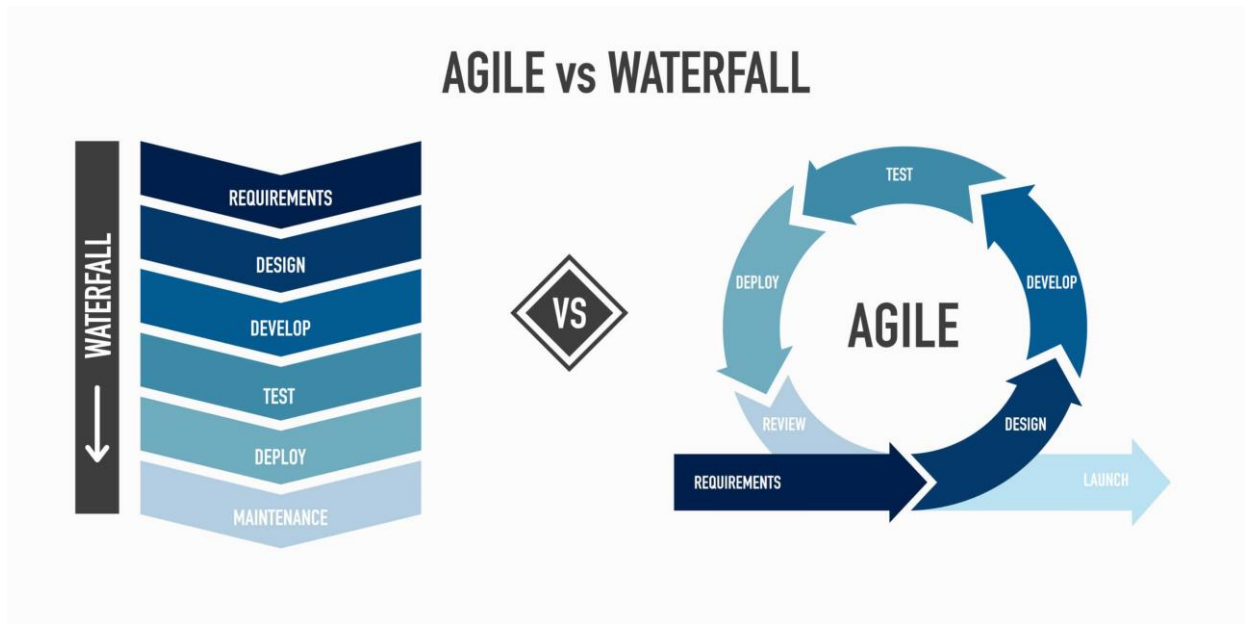


Рисунок 1.1 - Концептуальна відмінність традиційної (Waterfall) та гнучкої (Agile) моделей розробки

Джерело: складено автором на основі [5; 6]

В основі методології лежать чотири ключові цінності Маніфесту гнучкої розробки, які докорінно змінюють управлінські акценти:

1. Люди та взаємодія важливіші за процеси та інструменти. Це означає, що ефективність проєкту залежить насамперед від якості комунікації в команді та компетенцій співробітників, а не від суворого слідування регламентам [6; 7];

2. Працюючий продукт важливіший за вичерпну документацію. В інженерному контексті це не означає відмову від технічної документації (яка є обов'язковою для сертифікації), а вказує на пріоритет створення функціонального прототипу або моделі, яку можна протестувати, над створенням стосів паперових звітів [8; 9];

3. Співпраця з клієнтом важливіша за узгодження умов контракту. Постійний зворотний зв'язок від замовника дозволяє коригувати технічні вимоги в процесі розробки, уникаючи ситуації, коли готовий виріб не задовольняє користувача [10];

4. Готовність реагувати на зміни важливіша за дотримання початкового плану. Здатність вносити зміни в конструкцію на пізніх етапах без критичних втрат стає ключовою конкурентною перевагою [11].

Детальна порівняльна характеристика традиційного та гнучкого підходів, що базується на цих цінностях, представлена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика традиційного та гнучкого підходів в інженерії

Критерій порівняння	Традиційна модель (Waterfall/V-Model)	Гнучка модель (Agile Engineering)
Горизонт планування	Довгостроковий, детальний на старті	Короткостроковий (ітеративний), адаптивний
Реакція на зміни	Зміни небажані, вимагають перегляду бюджету	Зміни вітаються, розглядаються як покращення
Отримання зворотного зв'язку	В кінці проєкту (після валідації)	Регулярно (після кожної ітерації/прототипу)
Вартість виправлення помилки	Експоненціально зростає з часом	Стабільна завдяки ранньому виявленню
Фокус команди	Виконання документації та процесів	Створення працюючого продукту/моделі
Інтеграція дисциплін	Послідовна (естафетна передача)	Паралельна (крос-функціональна робота)

Практична реалізація цих цінностей здійснюється через застосування спеціалізованих фреймворків. В інженерному середовищі найбільш поширеними є (порівняльний аналіз їх застосування в авіації див. у табл. 1.2):

- Scrum - найбільш структурований підхід, що базується на роботі короткими ітераціями (спринтами) фіксованої довжини (зазвичай 1-4 тижні). Scrum забезпечує високу організованість, ритмічність та прозорість завдяки чітким ролям (Scrum Master, Product Owner, Team) та регулярним подіям

(планування, стендапи, огляди, ретроспективи). В інженерії Scrum ефективний на етапах активної розробки (R&D), коли вимоги ще не стабілізовані, а команда потребує фокусу на створенні інкременту продукту [8; 12; 13];

- Kanban - метод управління потоком, що походить від виробничої системи Toyota (Lean Manufacturing). Він фокусується на візуалізації завдань, обмеженні незавершеної роботи (WIP - Work In Progress) та максимізації пропускної здатності системи. Цей підхід демонструє високу ефективність у підрозділах із безперервним потоком різномірних завдань, таких як технічне обслуговування, підтримка виробництва або поточне проєктування, дозволяючи швидко виявляти та усувати «вузькі місця» (bottlenecks) процесу [14; 15; 16];

- Scrumban - гібридна модель, що поєднує структурну плановість Scrum (ролі, ритуали) із гнучкістю потоку Kanban (візуалізація, ліміти, pull-система). Цей підхід дозволяє адаптувати процеси під реалії конкретної інженерної команди, підтримуючи баланс між структурою та оперативною реакцією на зміни. Він особливо актуальний для команд, де планування спринтів часто порушується терміновими запитами від виробництва [17; 18];

- SAFe (Scaled Agile Framework) - масштабована модель для великих корпорацій, що дозволяє синхронізувати роботу десятків команд (Agile Release Trains) та забезпечити інтеграцію Agile на рівні портфеля проєктів. Для таких гігантів як Boeing, це критично важливо для координації тисяч інженерів [19; 20].

Таблиця 1.2 - Специфіка застосування Agile-фреймворків в авіаційному середовищі

Фреймворк	Сфера найкращого застосування	Переваги для інженерії	Обмеження
Scrum	R&D, розробка авіоніки, нові проєкти з високою невизначеністю	Ритмічність, чіткі дедлайни, фокус команди	Жорсткі рамки спринтів можуть порушуватися через зовнішні затримки

Фреймворк	Сфера найкращого застосування	Переваги для інженерії	Обмеження
Kanban	Серійний супровід, підтримка виробництва, управління змінами	Візуалізація "вузьких місць", гнучкість пріоритетів	Ризик втрати довгострокового фокусу без додаткового планування
Scrumban	Інженерні команди зі змішаним типом навантаження (проекти + підтримка)	Баланс між структурою та потоком, адаптивність	Вимагає високої дисципліни та зрілості команди
SAFe	Великі програми (наприклад, розробка нового літака)	Синхронізація сотень команд, єдиний ритм (Release Train)	Висока складність впровадження, бюрократичність

Однак, перенесення Agile з ІТ-сфери у традиційні виробничі та інженерні процеси («hardware») стикається зі значними перешкодами, зумовленими фізичною природою продукту. Традиційно системна інженерія спирається на V-подібну модель життєвого циклу, де процеси розгортаються послідовно, від декомпозиції вимог до архітектури, дизайну, виробництва, і далі вгору - до інтеграції, верифікації та валідації [21; 22]. Інтеграція гнучких підходів у таке середовище вимагає вирішення трьох фундаментальних проблем:

1. Довгі цикли розробки та зворотного зв'язку. На відміну від програмного забезпечення, де компіляція коду та розгортання нової версії займає хвилини, створення фізичного вузла літака (прототипування, закупівля матеріалів, виготовлення, стендові випробування) займає значний час і потребує матеріальних ресурсів. Класичний принцип Agile "часті релізи" тут важко реалізувати фізично. В таких умовах Agile адаптується через широке використання цифрових двійників (Digital Twins), комп'ютерного моделювання (CAD/CAE) та створення MVP (мінімально життєздатних продуктів), що дозволяє тестувати гіпотези у віртуальному середовищі та отримувати зворотний зв'язок ще до етапу фізичного виробництва [23; 24];

2. Управління складними залежностями. Авіаційні системи є мультидисциплінарними: механічна конструкція, аеродинаміка, термодинаміка, електроніка та вбудоване ПЗ тісно взаємопов'язані. Зміни в одній підсистемі (наприклад, зміна ваги компонента інтер'єру) можуть спричинити ланцюгову реакцію змін в інших системах (центрування літака, міцність кріплень, електроживлення). Це вимагає переходу від ізольованої роботи функціональних відділів ("колодязів") до крос-функціональної співпраці та використання інструментів масштабування Agile для синхронізації команд [25; 26];

3. Висока вартість змін (Cost of Change). Внесення змін у конструкцію на пізніх етапах виробництва тягне за собою експоненціальне зростання фінансових втрат, на відміну від рефакторингу програмного коду, який є відносно дешевим. Тому Agile в інженерії фокусується на ітеративному проектуванні та ранньому виявленні помилок (концепція Shift Left Testing) через часті перевірки та прототипування, щоб мінімізувати ризики виявлення дефектів на етапі серійного виробництва [11].

Незважаючи на ці виклики, адаптація Agile надає авіаційній галузі критичні конкурентні переваги, які неможливо отримати в рамках традиційних моделей. Ключовою з них є підвищення швидкості реагування на зміни (Time-to-Market), можливість адаптувати проєкт під нові вимоги замовника або технологічні інновації навіть на пізніх етапах розробки, що є вирішальним в умовах високої конкуренції. Зменшення часу до першого результату дозволяє отримати фідбек від замовника на ранніх стадіях, що запобігає масштабним помилкам у фінальному продукті [27; 28]. Крім того, візуалізація процесів та регулярні комунікації підвищують прозорість роботи, формуючи культуру відповідальності, відкритості та постійного вдосконалення [29; 30].

Таким чином, для ефективного функціонування в авіаційному середовищі Agile не може бути сліпо скопійованим з ІТ-практик. Він потребує створення адаптивних гібридних моделей, які поєднують ітеративність

гнучкої розробки зі структурністю, дисципліною та контролем якості, притаманними традиційній системній інженерії [31; 5]. Такий підхід дозволяє інженерним підрозділам зберігати відповідність суворим нормативним вимогам та стандартам безпеки, водночас суттєво підвищуючи свою адаптивність та операційну ефективність.

1.2 Аналіз нормативної бази, стандартів та регуляторних вимог в авіаційній галузі

Авіаційна промисловість є однією з найбільш зарегламентованих сфер глобальної економіки, де безпека польотів є абсолютним пріоритетом, що диктує жорсткі вимоги до процесів розробки, виробництва та експлуатації авіаційної техніки. Впровадження будь-яких нових управлінських підходів, зокрема Agile, неможливе без урахування ієрархічної системи нормативних актів, що регулюють життєвий цикл повітряного судна. Ця система базується на складній взаємодії міжнародних організацій, національних авіаційних адміністрацій та галузевих стандартів [32; 29].

На глобальному рівні фундамент нормативної бази формує Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO), яка встановлює стандарти та рекомендовану практику (SARPs). Хоча вони не є законами прямої дії, країни-члени зобов'язані імплементувати їх у національне законодавство. Ключовими регуляторами, що безпосередньо впливають на сертифікацію авіаційної продукції та можливість виходу на міжнародні ринки, є Європейське агентство з авіаційної безпеки (EASA) в Європі та Федеральна авіаційна адміністрація (FAA) у США [25; 33]. Їхні регламенти, такі як Part 21 (сертифікація повітряних суден та організацій розробника) та Part 145 (технічне обслуговування), встановлюють обов'язкові вимоги до організаційної структури, процесів контролю якості та документування змін. Будь-яка зміна в процесі розробки, яку пропонує Agile (наприклад, часті релізи), повинна бути валідована на відповідність цим регламентам [25].

Для інженерних підрозділів, що займаються розробкою складних бортових систем, критичне значення мають спеціалізовані технічні стандарти, розроблені комітетами RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) та EUROCAE. Саме вони визначають методологію створення безпечних систем і часто сприймаються як головний бар'єр для Agile через свою історичну орієнтацію на каскадну модель розробки (V-model). Розглянемо ключові стандарти детальніше:

1. DO-178C ("Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification"). Це "золотий стандарт" для розробки авіаційного програмного забезпечення. Він визначає п'ять рівнів критичності ПЗ (від Level A - катастрофічні наслідки відмови, до Level E - відсутність впливу на безпеку). Стандарт вимагає суворого планування, розробки, верифікації та конфігураційного управління. Основний виклик для Agile тут полягає у вимозі детермінованості та повного двонаправленого трасування (bidirectional traceability) вимог: від високорівневих вимог до вихідного коду і тестових кейсів. Agile-команди повинні забезпечити, щоб кожна ітерація (спринт) завершувалася не лише робочим кодом, а й оновленими артефактами трасування [23; 26];

2. DO-254 ("Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware"). Цей стандарт є аналогом DO-178C, але для апаратного забезпечення (електронних схем, ПЛІС, ASIC). Він вимагає документування кожного кроку проектування "заліза" та суворого контролю версій. В умовах Agile це ускладнює швидкі зміни в дизайні плат, оскільки кожна зміна вимагає повторного проходження циклу верифікації [12];

3. ARP4754A ("Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems"). Регламентує процеси системної інженерії та інтеграції. Стандарт вимагає чіткої валідації вимог перед початком детального проектування, що формально суперечить принципу Agile про можливість зміни вимог на пізніх етапах. Проте стандарт допускає ітеративні цикли розробки, якщо вони супроводжуються належним аналізом безпеки (Safety Assessment) [21; 22];

4. AS9100. Міжнародний стандарт управління якістю для аерокосмічної галузі, що базується на ISO 9001, але містить додаткові вимоги щодо управління ризиками, конфігурацією та контролю постачальників. AS9100 вимагає, щоб процеси були документовані та вимірювані, що цілком узгоджується з принципами прозорості в Agile [34; 30].

Узагальнений аналіз викликів, які створюють ці стандарти, та стратегії їх подолання при впровадженні Agile наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Адаптація Agile-практик до вимог авіаційних стандартів

Стандарт	Основна вимога	Виклик для Agile	Спосіб вирішення (Compliance Strategy)
DO-178C / DO-254	Детермінованість та повне трасування вимог (Traceability)	Agile фокусується на коді/продукті, а не на документах	Автоматизація трасування в ALM-системах (Jira/Polarion); включення документації в "Definition of Done"
ARP4754A	Валідація вимог перед початком проектування	Agile допускає зміну вимог у процесі	Використання ітеративної валідації; заморожування вимог лише на рівні ітерації, а не всього проекту
AS9100	Управління конфігурацією та ризиками	Швидкі зміни можуть призвести до втрати контролю версій	Автоматизований контроль версій (Git/PLM); інтеграція управління ризиками в планування спринтів

Конфлікт між філософією Agile (мінімізація зайвої документації, реакція на зміни) та вимогами цих стандартів (документування кожного кроку, фіксація вимог) часто є удаваним, але потребує специфічних управлінських рішень. На практиці провідні авіаційні компанії вирішують цю проблему через концепцію "Agile within V-model" (схематично зображено на рис. 1.2). Суть підходу полягає в тому, що Agile-команди працюють короткими ітераціями (спринтами) всередині етапів класичної V-моделі. Вони забезпечують гнучкість у розробці компонентів, але кожна ітерація завершується

формуванням артефактів, необхідних для сертифікації («Definition of Done» включає документацію) [1; 20].

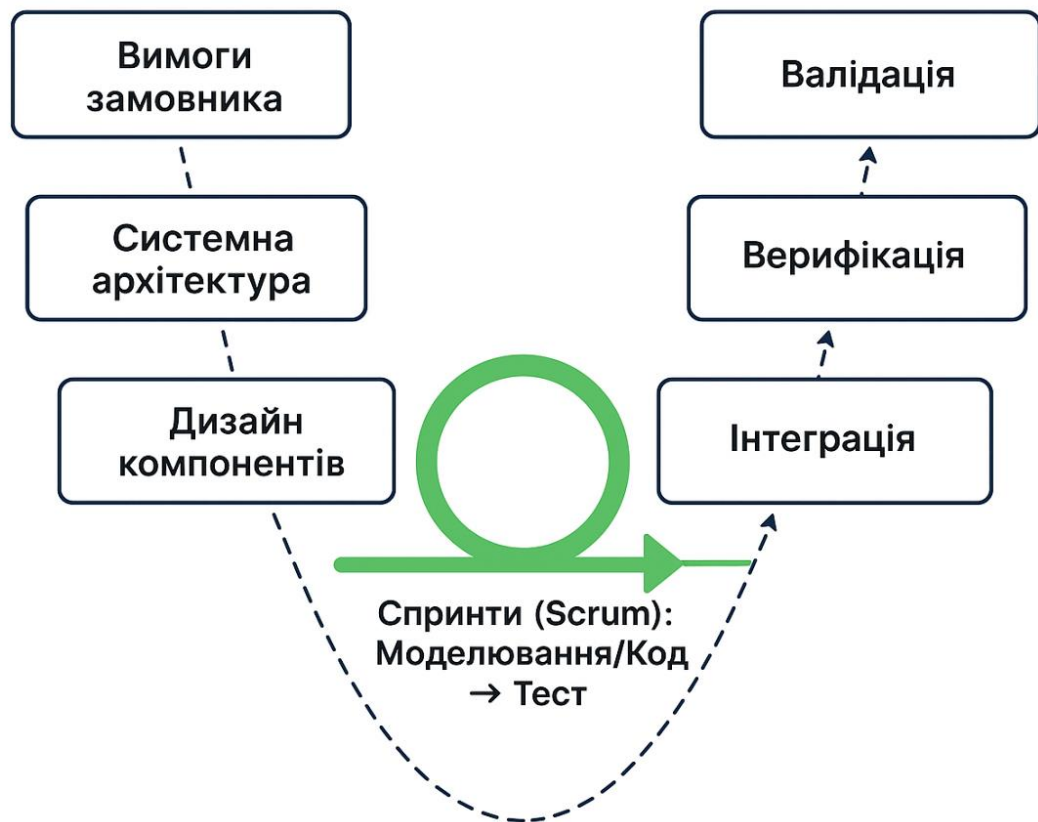


Рисунок 1.2 - Модель інтеграції Agile у V-подібний життєвий цикл («Agile within V-Model»)

Джерело: складено автором на основі [12]

Критично важливим аспектом є цифровізація процесу забезпечення відповідності ("compliance"). Ручне створення звітів про трасування вимог у Excel є несумісним зі швидкістю Agile. Тому необхідне використання інтегрованих інструментів управління життєвим циклом (ALM), таких як Jira, Polarion або DOORS. Ці системи дозволяють автоматизувати створення матриць трасування та звітів про відповідність, перетворюючи документацію з бюрократичного навантаження на "побічний продукт" процесу розробки. Це дозволяє проходити аудити регулятора без зупинки роботи команди [3; 5; 4].

У контексті України нормативна база, представлена Державною авіаційною службою України (ДАСУ), активно гармонізується з європейськими правилами (Авіаційні правила України, частина 21). Це означає, що українські інженерні компанії, які інтегровані у глобальні ланцюги постачання (наприклад, як субпідрядники Boeing або Airbus), повинні дотримуватися тих самих міжнародних стандартів (DO-178С, AS9100). Основною проблемою для локальних підприємств залишається необхідність формального затвердження будь-яких змін у затверджених процедурах розробки з боку регулятора або замовника. Це може створювати часові затримки при переході на гнучкі рейки, оскільки Agile вимагає зміни парадигми контролю: від контролю процесів до контролю результатів [33].

Отже, нормативна база авіаційної галузі створює жорсткі рамки для інженерної діяльності, але не забороняє використання Agile прямо. Ключем до успіху є адаптація гнучких практик таким чином, щоб вони забезпечували не лише швидкість розробки ("Time-to-Market"), а й безперервну доказову базу безпеки та якості, необхідну для сертифікації продукції [27; 19; 28].

1.3 Світовий досвід та кращі практики застосування Agile провідними авіабудівними компаніями

Аналіз сучасного стану світової авіаційної промисловості свідчить про те, що впровадження гнучких методологій (Agile) перестало бути експериментальною практикою окремих ІТ-департаментів і трансформувалося у стратегічний вектор розвитку провідних авіабудівних корпорацій. В умовах глобальної конкуренції компанії Північної Америки, Європи та Азії інтегрують Agile не лише у розробку бортового програмного забезпечення, а й у процеси системної інженерії, проектування фізичних компонентів ("hardware"), виробниче планування та управління ланцюгами постачання [3; 4]. Досвід таких гігантів, як Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Embraer та GE Aviation, дозволяє виділити перевірені моделі адаптації, що довели свою ефективність у високорегламентованому середовищі [35; 2].

Корпорація Boeing, як один із технологічних лідерів індустрії, демонструє приклад еволюційної інтеграції Agile-практик. Стратегія компанії базується на гібридній моделі "Agile within V-Model". Суть цього підходу полягає в тому, що Agile-команди функціонують у межах традиційних етапів системної розробки (вимоги - архітектура - розробка - інтеграція - тестування). Це дозволяє зберігати відповідність жорстким вимогам сертифікації та валідації, не відмовляючись від переваг ітеративності та оперативного зворотного зв'язку [12; 23].

Особливо активно Boeing застосовує фреймворки Scrum та SAFe (Scaled Agile Framework) у підрозділах, що займаються розробкою авіоніки та цифрових систем управління польотом. Компанія фокусується на підвищенні швидкості розробки ПЗ та забезпеченні тісної взаємодії між розробниками коду та інженерами-системщиками. Це дозволяє виявляти інтеграційні конфлікти (наприклад, несумісність інтерфейсів) на ранніх стадіях, що суттєво знижує вартість виправлення помилок [25; 19]. Крім того, Boeing активно впроваджує практики DevOps для автоматизації тестування бортових систем, що є критичним для пришвидшення циклів релізів.

Європейський концерн Airbus обрав шлях масштабної організаційної трансформації, зробивши ставку на фреймворк SAFe. Цей підхід дозволяє компанії координувати роботу сотень команд, залучених до створення складних авіаційних комплексів, забезпечуючи єдність цілей та стандартів [19; 20]. Ключовим елементом є організація "Agile Release Trains" (ARTs) - віртуальних структур, що синхронізують роботу над різними частинами продукту (від фюзеляжу до навігаційних систем) на стратегічному рівні.

Airbus успішно реалізує модель "SAFe + Waterfall", яка поєднує гнучке управління на рівні команд і програм із каскадним плануванням на рівні портфеля проєктів. Це забезпечує необхідну для авіації довгострокову передбачуваність бюджетів та строків виконання контрактів, зберігаючи при цьому оперативну гнучкість інженерних груп для вирішення технічних

проблем [36; 37]. Такий підхід дозволяє менеджменту компанії балансувати між інноваціями та операційною стабільністю.

У межах власної програми "Agile Engineering Excellence", Lockheed Martin зосередився на технологічно складних оборонних проєктах. Компанія використовує адаптивний підхід, відмовляючись від універсального шаблону ("one size fits all"). Команди мають право обирати інструментарій залежно від типу задач:

- Scrum - використовується для розробки нового програмного забезпечення та R&D проєктів із високим ступенем невизначеності [8; 23];
- Kanban - застосовується для процесів технічної підтримки, обслуговування та поточних інженерних задач, де важливо керувати потоком та обмежувати незавершене виробництво [6; 14; 15];
- XP (Extreme Programming) - використовується для розробки критичних компонентів безпеки, що вимагають найвищої якості коду та парного програмування [26; 24].

Особливістю підходу Lockheed Martin є широке використання моделі Scrumban в інженерних підрозділах, де потік завдань є нестабільним або залежить від численних зовнішніх факторів (постачальники, зміни вимог замовника). Це дозволяє поєднувати плановість спринтів із гнучкістю реагування на зміни в реальному часі [5].

Бразильська компанія Embraer демонструє успішний досвід застосування концепції "Scrum@Hardware" для проєктування фізичних компонентів літаків - кабін пілотів, панелей, механічних вузлів. Впровадження щоденних стендапів, візуалізація задач на фізичних та цифрових дошках, а також тісна комунікація між конструкторським бюро та виробничим цехом дозволили суттєво скоротити цикл розробки та зменшити кількість помилок на етапі складання [17; 16].

GE Aviation активно використовує Lean-Agile підходи, інтегруючи філософію ощадливого виробництва (Toyota Production System) з гнучкими інструментами розробки. У лабораторних та дослідницьких підрозділах

компанія застосовує короткі ітерації для швидкого прототипування та тестування нових матеріалів і двигунів. Це дозволяє пришвидшити інноваційний цикл та зменшити витрати на невдалі експерименти [7; 38].

Систематизацію розглянутих моделей адаптації Agile у провідних компаніях наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Моделі впровадження Agile провідними авіабудівними компаніями

Компанія	Обрана модель адаптації	Ключові особливості підходу	Досягнутий ефект
Boeing	Agile within V-Model	Інтеграція Scrum-команд всередину етапів класичної V-моделі; фокус на авіоніці	Пришвидшення розробки ПЗ; покращення інтеграції систем
Airbus	SAFe + Waterfall	Використання SAFe для координації програм; каскадне планування на рівні портфеля	Синхронізація роботи розподілених команд; передбачуваність поставок
Lockheed Martin	Multi-framework Approach	Гнучкий вибір (Scrum/Kanban/XP) залежно від типу задач (R&D vs Підтримка)	Підвищення інженерної досконалості; скорочення циклу зворотного зв'язку
Embraer	Scrum@Hardware	Адаптація Scrum для фізичного проектування (механіка, інтер'єр)	Зменшення кількості помилок на етапі складання; візуалізація прогресу

Синтез досвіду провідних гравців ринку дозволяє виділити ряд універсальних практик, що є фундаментом успішної Agile-трансформації в авіабудуванні:

1. Адаптивна гібридизація. Жодна успішна компанія не використовує Agile в "чистому", книжковому вигляді. Успіх базується на створенні власних гібридних моделей, які враховують специфіку довгих життєвих циклів виробів, вимоги до безпеки та корпоративну культуру [11; 18];

2. Масштабування та синхронізація. Використання фреймворків масштабування (SAFe, LeSS) є критично важливим для забезпечення узгодженості дій у великих, територіально розподілених командах. Це дозволяє уникнути хаосу та забезпечити єдиний вектор руху для тисяч інженерів [19; 20];

3. Цифровізація процесів. Ефективність Agile в інженерії неможлива без потужних інтегрованих цифрових екосистем. Використання систем управління життєвим циклом (PLM), інструментів трекінгу (Jira) та автоматизованого тестування забезпечує прозорість виконання завдань, автоматичне трасування вимог та спрощує проходження аудитів [39; 40];

4. Культурна трансформація та лідерство. Лідери ринку інвестують значні ресурси не лише в інструменти, а й у зміну мислення персоналу ("Agile Mindset"). Перехід від директивного управління ("Command and Control") до моделі лідерства-служіння ("Servant Leadership") сприяє підвищенню автономії команд, розкриттю їхнього творчого потенціалу та зростанню відповідальності за кінцевий результат [29; 9].

Таким чином, світовий досвід переконливо доводить, що Agile є дієвим інструментом підвищення конкурентоспроможності авіабудівних підприємств. Його застосування дозволяє скоротити час виходу продукції на ринок ("Time-to-Market"), покращити якість через раннє виявлення помилок та забезпечити гнучкість в умовах невизначеності, не порушуючи при цьому жорстких галузевих стандартів та норм безпеки [37].

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу теоретичних основ встановлено, що Agile в авіаційній промисловості виступає не просто як набір інструментальних методик, а як комплексна управлінська парадигма, спрямована на підвищення адаптивності підприємств в умовах високої невизначеності. Виявлено, що специфіка інженерних процесів - довгі життєві цикли виробів, складна архітектура систем та висока вартість внесення змін на пізніх етапах - унеможлиблює пряме

копіювання IT-практик. Доведено, що найбільш ефективним шляхом є використання гібридних моделей (таких як Scrumban або модель "Agile within V-Model"), які дозволяють поєднати ітеративність та гнучкість Agile зі структурністю та дисципліною традиційних інженерних підходів.

Дослідження нормативної бази спростувало поширене твердження про несумісність Agile з жорсткими регуляторними вимогами авіаційної галузі. Обґрунтовано, що стандарти вимагають наявності доказової бази безпеки та якості, але не диктують виключно каскадний метод розробки. Визначено, що ключем до забезпечення відповідності ("compliance") в умовах Agile є цифровізація процесів: використання інтегрованих ALM-систем (Application Lifecycle Management) дозволяє автоматизувати трасування вимог та створення звітної документації, перетворюючи її з бюрократичного навантаження на інтегровану частину ітеративного процесу.

Узагальнення практичного досвіду провідних авіабудівних корпорацій (Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Embraer) підтвердило стратегічну значущість Agile-трансформації для галузі. Виділено ключові тренди успішної адаптації: використання фреймворків масштабування (SAFe) для координації сотень команд, впровадження концепції "Scrum@Hardware" для фізичного проєктування та перехід до культури лідерства-служіння. Кейси компаній демонструють, що впровадження гнучких методів дозволяє суттєво скоротити час виходу продукції на ринок ("Time-to-Market"), покращити якість проєктних рішень через ранній зворотний зв'язок та підвищити ефективність міжфункціональної взаємодії.

РОЗДІЛ 2

ДІАГНОСТИКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНЖЕНЕРНОГО ПІДРОЗДІЛУ

2.1 Організаційно-економічна характеристика та опис процесів інженерного підрозділу

Ефективність функціонування будь-якого виробничого підрозділу, особливо в такій високотехнологічній галузі як авіабудування, безпосередньо залежить від якості його організаційної структури, чіткості розподілу функціональних обов'язків та налагодженості бізнес-процесів [34]. Об'єктом даного дослідження є інженерний підрозділ, що входить до складу великої авіабудівної корпорації та спеціалізується на проектуванні та супроводженні виробництва елементів інтер'єру для літаків серії Boeing 787 Dreamliner. Ключовим фокусом роботи підрозділу є розробка конструкції зони відпочинку екіпажу (Crew Rest Compartment) - критично важливого елемента, що забезпечує комфорт та безпеку пілотів під час довготривалих перельотів. Діяльність підрозділу здійснюється в умовах жорсткої регламентації, зумовленої міжнародними авіаційними стандартами та внутрішніми корпоративними вимогами [25].

Організаційна модель досліджуваного підрозділу побудована за лінійно-функціональним принципом з елементами матричної структури, що є традиційним підходом для проектно-орієнтованих організацій в аерокосмічній галузі (структурну схему наведено на рис. 2.1) [38]. Така структура забезпечує чітку ієрархію підпорядкування та спеціалізацію працівників, проте може створювати бар'єри для горизонтальної комунікації [41].

Штатний розклад підрозділу налічує 8 висококваліфікованих фахівців. Розподіл ролей та функціональних обов'язків виглядає наступним чином:

1. Керівник підрозділу (Team Lead) - 1 особа. Це ключова адміністративна фігура, яка зосереджує в своїх руках важелі оперативного та стратегічного управління. До його обов'язків входить:

- стратегічне планування завантаження команди та розподіл ресурсів відповідно до графіків програми 787 [39];
 - комунікація із зовнішніми стейкхолдерами (замовниками, виробничими цехами, відділами міцності та аеродинаміки);
 - контроль за дотриманням бюджетів та строків виконання робіт;
 - адміністрування системи трекінгу ETAC (Engineering Tracking and Control): створення нових записів, актуалізація статусів, формування звітності.
- Фактично, керівник виступає «єдиною точкою входу» для всієї вхідної інформації та диспетчером внутрішніх задач, що створює високе навантаження на одну особу та ризики уповільнення процесів у разі його відсутності [32].

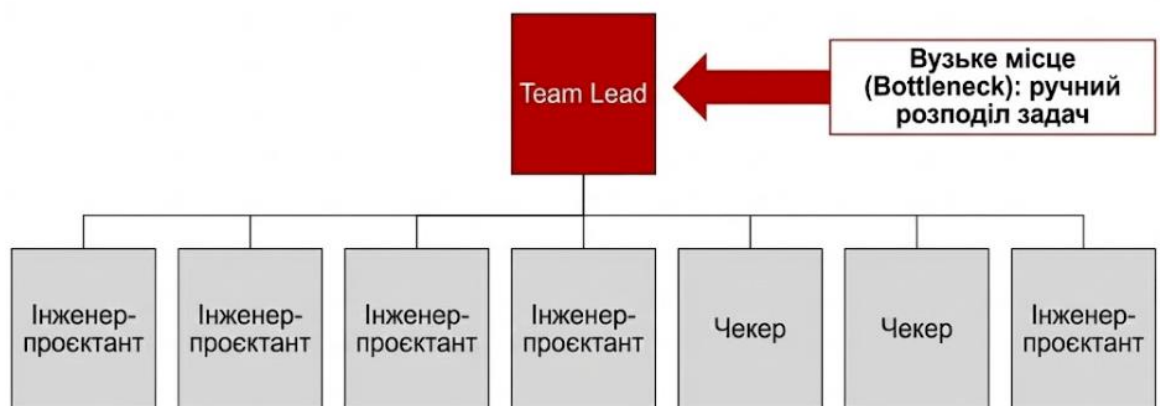


Рисунок 2.1 - Організаційна структура інженерного підрозділу

Джерело: розроблено автором

2. Інженери-проєктанти (Design Engineers) - 5 осіб. Це основна виробнича сила підрозділу. Їхня діяльність спрямована на створення інтелектуального продукту. До спектру їхніх завдань належить:

- розробка 3D-моделей компонентів інтер'єру в САД-системах (CATIA/NX);
- виконання інженерних розрахунків (ваговий аналіз, кінематика рухомих частин);

- створення деталізованих креслень (2D drawings) та специфікацій матеріалів (BOM - Bill of Materials);
- підготовка супровідної технічної документації (інструкції зі складання, паспорти виробів) [42]. Робота інженерів вимагає високого рівня технічної експертизи та глибокого знання специфікацій Boeing, але часто обмежується відсутністю повної картини проєкту через ізольованість завдань.

3. Чекери (Verifiers/Checkers) - 2 особи. Це фахівці з найвищим рівнем кваліфікації та досвіду, які відповідають за контроль якості (Quality Assurance) на етапі проєктування. Їхня функція є критичною для забезпечення безпеки польотів. Вони здійснюють:

- верифікацію технічних рішень на відповідність нормам льотної придатності (Airworthiness);
- перевірку креслень на наявність геометричних колізій та технологічність виготовлення;
- контроль відповідності документації стандартам оформлення (GD&T) [33]. Співвідношення кількості чекерів до інженерів (2 до 5) є оптимальним для забезпечення ретельного контролю, однак на практиці це часто стає «вузьким місцем» (bottleneck), коли потік готових до перевірки завдань перевищує пропускну здатність чекерів.

Детальний аналіз функціонального навантаження персоналу та виявлених "вузьких місць" (bottlenecks) у розподілі обов'язків представлено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Аналіз функціональних ролей та завантаження персоналу (AS IS)

Роль	Кількість	Основні функції	Виявлені проблеми (Bottlenecks)
Team Lead	1	Планування, розподіл задач, оновлення ETAC, зовнішня комунікація	Критичне перевантаження; виконує роль "вузького місця"; ручне управління процесами

Роль	Кількість	Основні функції	Виявлені проблеми (Bottlenecks)
Design Engineer	5	3D-моделювання, розрахунки, створення креслень	Нерівномірне навантаження; простій в очікуванні вхідних даних або перевірки
Checker	2	Верифікація рішень, нормоконтроль, перевірка на колізії	Пікові навантаження перед дедлайнами; повернення робіт на доопрацювання

Виробничий процес у підрозділі організований за класичною каскадною моделлю (Waterfall), де кожен етап має чіткий початок та завершення, а перехід до наступного етапу можливий лише після повного закриття попереднього [30]. Життєвий цикл типового інженерного завдання (Engineering Work Order) складається з семи послідовних фаз:

1. Ініціація (Initiation). Вхідна інформація надходить від керівників програм або суміжних відділів. Канали надходження інформації є неструктурованими: це можуть бути офіційні листи, повідомлення в месенджерах або усні розпорядження на нарадах. Відсутність єдиного реєстру вхідних вимог на цьому етапі створює ризики втрати інформації;

2. Реєстрація та Облік (Registration). Керівник підрозділу аналізує вхідний запит і вручну створює запис у системі ЕТАС. Цей етап є формальним стартом роботи, проте через завантаженість керівника часто відбувається із затримкою у 1-2 дні від моменту фактичного надходження завдання;

3. Розподіл та Планування (Dispatching). Керівник призначає виконавця завдання. Рішення приймається на основі суб'єктивної оцінки поточної завантаженості інженерів, оскільки автоматизовані інструменти балансування навантаження (Resource Leveling) у підрозділі не використовуються. Це призводить до ситуацій, коли одні працівники перевантажені, а інші мають простій [32];

4. Виконання (Engineering Execution). Найтриваліший етап, що включає безпосередню технічну роботу. Інженери працюють автономно,

використовуючи локальні бази знань. Комунікація з колегами на цьому етапі мінімальна, що часто призводить до дублювання рішень або використання застарілих даних;

5. Внутрішня перевірка (Checking Cycle). Готове рішення передається чекеру. Цей процес часто є ітеративним: чекер знаходить зауваження, повертає роботу інженеру, той виправляє і знову подає на перевірку. Кількість таких ітерацій (loops) може сягати 3-5 разів, що суттєво збільшує загальний час виконання (Lead Time) [43];

6. Зовнішнє погодження (Coordination). Затверджена чекером документація розсилається на погодження до суміжних відділів (відділ міцності, технологічний відділ, відділ матеріалів). Цей етап характеризується найвищим рівнем невизначеності, оскільки підрозділ не має важелів впливу на швидкість розгляду документів зовнішніми експертами;

7. Фінальне затвердження та випуск (Release). Після отримання всіх віз, документація отримує статус «Released», завантажується в PDM-систему (Product Data Management) і передається на виробництво. Завдання в ETAC закривається [40].

Узагальнені показники тривалості кожного етапу та ключові проблеми, що виникають у процесі виконання типового завдання, наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Життєвий цикл виконання інженерного завдання в поточній моделі

Етап	Тривалість (сер.)	Відповідальний	Проблематика етапу
1. Отримання та реєстрація	1-2 дні	Team Lead	Затримка внесення в систему; ручне дублювання даних
2. Виконання (Engineering)	3-5 днів	Engineer	Ізольована робота; відсутність проміжних перевірок

Етап	Тривалість (сер.)	Відповідальний	Проблематика етапу
3. Внутрішня перевірка	2-3 дні	Checker	Багаторазові ітерації виправлень (Loops); черги на перевірку
4. Зовнішнє погодження	3-7 днів	Суміжні відділи	"Чорна скринька"; непередбачуваність строків; відсутність трекінгу

З економічної точки зору, діюча модель управління характеризується високою часткою транзакційних витрат - часу та ресурсів, що витрачаються не на створення продукту, а на забезпечення процедур взаємодії та контролю [35]. Аналіз показує, що лише близько 60% робочого часу інженерів витрачається на безпосереднє проектування (Value Added Time). Решта 40% - це очікування вхідних даних, наради, оформлення звітів та очікування зворотного зв'язку від чекерів (Non-Value Added Time).

Відсутність прозорого механізму планування призводить до ефекту «студентського синдрому» (відкладання роботи на останній момент) та нерівномірного використання фонду оплати праці. У пікові моменти навантаження виникає потреба в понаднормових роботах, що збільшує витрати компанії, тоді як у періоди очікування погоджень ресурси використовуються неефективно. Система ETAC, яка мала б слугувати інструментом контролінгу, фактично виконує функцію посмертного обліку, не надаючи оперативної аналітики для прийняття управлінських рішень [44; 36].

Таким чином, діагностика поточного стану свідчить, що організаційно-економічна модель підрозділу, хоча й забезпечує необхідний рівень якості та відповідності стандартам, є недостатньо гнучкою та економічно неоптимальною. Високий ступінь централізації, лінійність процесів та значні часові втрати на етапах комунікації створюють об'єктивну потребу в трансформації системи управління з використанням сучасних Agile-підходів.

2.2 Аналіз ефективності комунікацій та існуючого інструментарію управління (ЕТАС)

Ефективність функціонування сучасного інженерного підрозділу визначається не лише кваліфікацією персоналу, а й якістю інформаційного середовища, в якому відбувається створення інтелектуального продукту. Швидкість обміну даними, актуальність статусів завдань та інтегрованість цифрових інструментів є критичними факторами успіху в управлінні проектами [39]. Проведена глибока діагностика ІТ-ландшафту та комунікаційних потоків досліджуваного підрозділу дозволила виявити низку системних недоліків, які створюють ефект інформаційної ентропії, призводять до десинхронізації дій команди та суттєво знижують загальну продуктивність [44].

Центральним елементом ІТ-інфраструктури, що забезпечує супровід інженерної діяльності, є спеціалізована система Engineering Tracking and Control (ЕТАС). За своїм архітектурним задумом, це потужний інструмент класу Project Management Information System (PMIS), призначений для повного циклу управління завданнями, від ініціації та ресурсного планування до моніторингу прогресу, обліку трудовитрат та архівації результатів [17].

Однак, детальний аналіз фактичної моделі експлуатації системи виявив значний розрив між її закладеним потенціалом та реальним використанням ("Design vs Reality Gap"). ЕТАС функціонує переважно в пасивному режимі - як статичний електронний реєстр або база даних для постфактум звітності, а не як інструмент оперативного управління в реальному часі. Було ідентифіковано наступні критичні обмеження:

1. Нерегулярність та неактуальність даних. У підрозділі відсутня сформована культура самостійного ведення статусів завдань ("In Work", "On Hold", "Ready for Check") безпосередніми виконавцями - інженерами. Внаслідок цього виникає суттєвий часовий лаг (від кількох годин до 2-3 діб) між фактичною зміною стану роботи та її відображенням у системі. Це

призводить до того, що керівник, приймаючи управлінські рішення, оперує застарілою інформацією, що викривлює реальну картину прогресу проєкту;

2. Ручне управління та подвійне введення. Функцію актуалізації даних у системі здебільшого перебирає на себе керівник підрозділу (Team Lead). Він змушений витратити цінний управлінський ресурс на механічне дублювання інформації, отриманої усно на нарадах, через месенджери або електронну пошту. Така практика не лише створює надмірне адміністративне навантаження, а й підвищує ризик помилок через людський фактор (помилки при перенесенні даних, втрата деталей) [14];

3. Відсутність аналітичного контуру. Система налаштована таким чином, що не генерує автоматизованих аналітичних звітів (dashboards) щодо ключових показників ефективності: середнього часу виконання задачі (Cycle Time), коефіцієнта завантаження персоналу, динаміки закриття завдань (Burn-down chart). Відсутність візуалізації "вузьких місць" у процесах унеможливорює прийняття рішень на основі об'єктивних даних (Data-Driven Management), залишаючи управління на рівні інтуїції [42].

Деталізований GAP-аналіз розбіжностей між проєктним задумом та фактичним використанням системи ETAC наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - GAP-аналіз використання інструментарію управління (ETAC)

Функція системи	Проєктний задум (Design)	Фактичне використання (Reality)	Наслідки розриву
Моніторинг статусу	Оперативне відображення стану "Real-time"	Оновлення постфактум (раз на кілька днів)	Керівник не бачить реальної картини; неможливість оперативного реагування
Планування	Автоматизований розподіл ресурсів	Ручне призначення виконавців керівником	Суб'єктивність у розподілі навантаження

Функція системи	Проектний задум (Design)	Фактичне використання (Reality)	Наслідки розриву
Інтеграція	Єдина екосистема з CAD/PDM	Ізольоване функціонування ("Silo")	Подвійне введення даних; втрата контексту; помилки
Звітність	Аналітичні дашборди	Відсутність автоматичної аналітики	Управління на основі інтуїції, а не даних

Крім ETAC, у робочому процесі підрозділу використовується низка інших спеціалізованих інструментів, зокрема платформа OneNote для візуального рецензування креслень, 3D-моделей та технічної документації. Проте головною архітектурною проблемою є відсутність наскрізної інтеграції (API-зв'язків) між цими системами. Вони функціонують як ізольовані інформаційні "колодязі" (silos) [40].

На практиці це означає, що внесення критичного зауваження до креслення у системі OneNote автоматично не змінює статус завдання в ETAC на "Correction Needed" і не надсилає сповіщення виконавцю. Інженер або чекер повинні виконати подвійну роботу: зафіксувати проблему в одній системі, а потім вручну повідомити про це в іншій (або написати листа). Така розірваність інформаційних потоків призводить до втрати контексту, затримок у реакції на правки та підвищення ймовірності того, що частина зауважень залишиться неврахованою.

Комунікаційна модель підрозділу базується на застарілих, переважно асинхронних підходах, що не відповідають динаміці та складності сучасних інженерних проєктів. Домінуючим каналом передачі інформації, постановки завдань, обміну файлами та погодження рішень залишається електронна пошта (Email) (схематичне зображення потоків наведено на рис. 2.2).



Рисунок 2.2 - Схема інформаційних потоків

Джерело: Розроблено автором

1. Внутрішня комунікація та координація. У команді відсутні регулярні синхронізаційні ритуали, такі як щоденні стендапи (Daily Stand-ups). Обмін інформацією відбувається хаотично, за принципом "один-на-один" (ad-hoc) або через довгі ланцюжки листування. Це призводить до ефекту ізоляції співробітників: інженери, працюючи над суміжними компонентами одного вузла, часто не знають про статус роботи колег, що спричиняє колізії при інтеграції, дублювання зусиль та розсинхронізацію технічних рішень. Процес передачі знань (Knowledge Transfer) новим працівникам не систематизований і здійснюється усно, без опори на централізовану Базу знань (Wiki), що робить процес адаптації довгим та залежним від наявності вільних менторів [32].

2. Зовнішня взаємодія та процеси погодження. Взаємодія із суміжними підрозділами (міцність, аеродинаміка, технологічність) є найбільш критичним "вузьким місцем". Через відсутність єдиного цифрового простору для трекінгу маршрутів погодження (Approval Workflow), документи часто "губляться" у вхідних папках електронної пошти відповідальних осіб. Команда розробників не має прозорого інструменту для відстеження статусу

документа: невідомо, на якому етапі, у кого саме і з якої причини затрималося погодження. Це явище "чорної скриньки" унеможливило точне прогнозування термінів завершення завдань та виконання графіків проєкту [29].

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що існуючий інструментарій та комунікаційні практики є неефективними та не відповідають вимогам часу. Система ЕТАС не виконує своєї основної функції активного трекінгу та управління потоком, цифрові інструменти дезінтегровані, а тотальне домінування електронної пошти створює інформаційний шум та ускладнює пошук актуальних даних. Відсутність візуалізації робочого потоку (Visual Management) та регулярної командної синхронізації робить процес управління реактивним, змушуючи керівника постійно займатися "гасінням пожеж" в ручному режимі замість системного планування та розвитку [18; 2].

2.3 Дослідження ключових проблем та організаційних бар'єрів, бюрократизація та втрати часу

Комплексна діагностика операційної діяльності інженерного підрозділу дозволила не лише зафіксувати наявні недоліки, а й систематизувати ключові проблеми, що формують бар'єри для ефективного розвитку. Аналіз показав, що основні перешкоди лежать не в площині технічної компетентності персоналу (яка є високою), а в площині організації процесів та управлінської культури. Домінуючими негативними факторами, що стримують продуктивність, є надмірна бюрократизація, розмитість процедур, відсутність стандартизації знань та висока частка непродуктивних витрат часу [37].

Авіаційна галузь об'єктивно вимагає суворого контролю якості та відповідності стандартам. Проте в досліджуваному підрозділі цей контроль трансформувався у громіздку, ригідну бюрократичну надбудову, яка уповільнює всі процеси, не додаючи при цьому пропорційної цінності кінцевому продукту [30]. Процес погодження технічних рішень (Approval Process) побудований за багаторівневою, послідовною схемою, що вимагає

отримання віз від кількох інстанцій (чекер, керівник групи, суміжні відділи, відділ якості).

Аналіз виявив такі критичні прояви бюрократичної дисфункції:

1. Відсутність регламентованих термінів (SLA). Для процедур розгляду документів не встановлено чітких часових рамок (Service Level Agreement). Документ може перебувати на погодженні у суміжного відділу від кількох годин до тижня, і це вважається нормою. Така варіативність робить загальний час виконання завдання (Lead Time) абсолютно непередбачуваним, що унеможлиблює точне планування [44].

2. Непрозорість статусу та «ефект чорної скриньки». Через відсутність єдиного цифрового трекера погоджень (Workflow System), процес затвердження стає непрозорим для виконавця. Після передачі документа на перевірку команда фактично втрачає контроль над ним: невідомо, хто саме зараз розглядає документ, чи взято його в роботу і що є причиною затримки. Це змушує керівника витратити до 30% свого часу на «ручне» відстеження, дзвінки та нагадування колегам [13].

3. Формалізм замість суті. Значна частина зауважень (до 40%) на етапах перевірки стосується не технічного змісту чи безпеки польотів, а формальних атрибутів: оформлення рамок, шрифтів, назв файлів. Це призводить до багаторазових ітерацій повернення документації на доопрацювання (Loops), що штучно роздуває обсяг роботи та демотивує інженерів, перетворюючи їх на «оформлювачів» [33].

Суттєвим обмеженням ефективності є слабка формалізація внутрішніх процедур та повна відсутність системи управління знаннями (Knowledge Management), що є критичним для інженерних організацій [45].

Проблема адаптації (Onboarding Gap). У підрозділі відсутні прописані регламенти та інструкції для нових працівників. Передача знань здійснюється виключно усно ("tribal knowledge"), що створює сильну залежність від наявності вільного часу у досвідчених колегах. Новачок витрачає місяці на те,

щоб зрозуміти неписані правила роботи, допускаючи при цьому системні помилки, які можна було б попередити наявністю Wiki-бази [32].

Розмитість контрольних точок (Gate Reviews). Інженери не завжди мають чітке розуміння критеріїв готовності завдання (Definition of Done) для передачі його на наступний етап. Це призводить до передчасної передачі "сирих" або некомплектних рішень чекерам. Як наслідок, чекери змушені виконувати роботу інженерів з доопрацювання, замість того щоб фокусуватися на валідації, що перевантажує їх і створює «вузьке місце» [18].

Інформаційна ентропія. Технічні інструкції, шаблони, приклади розрахунків та кращі практики розпорошені по локальних дисках, пошті або особистих архівах співробітників. Час, що витрачається на пошук актуальної версії шаблону або прикладу аналогічного рішення, є класичним прикладом втрат (Waste) [2].

Накладання бюрократичних процедур на неефективну організацію праці призводить до значних втрат часу, які можна класифікувати за методологією Lean (ощадливе виробництво) [43; 37]. Детальний кількісний аналіз цих втрат наведено в табл. 2.4, а їх графічну структуру візуалізовано на рис. 2.3.

Таблиця 2.4 - Структура непродуктивних втрат часу (Waste Analysis)

Тип втрат (Lean)	Опис прояву в підрозділі	Оцінка частки часу (%)
Waiting (Очікування)	Простій інженера в очікуванні відповіді чекера, вхідних даних або візи	30%
Over-processing (Зайва обробка)	Ручне перенесення даних між системами, надмірне форматування звітів	20%
Defects (Дефекти/Переробка)	Виправлення помилок після перевірки; повернення на доопрацювання	15%
Motion (Зайві рухи)	Пошук актуальної інформації в пошті та на локальних дисках	10%
Value Added Work	Безпосереднє створення інженерного продукту	25%

Очікування (Waiting) - 25-30% часу. Це найбільша категорія втрат. Інженери простоюють в очікуванні вхідних даних, зворотного зв'язку від чекерів або фінального підпису. Цей час не додає цінності продукту, але оплачується компанією.

Зайва обробка (Over-processing) - 15-20% часу. Сюди відноситься ручне дублювання інформації між різними системами (пошта → ETAC, OneNote → пошта), надмірна деталізація звітів, які ніхто не читає, та виправлення формальних помилок оформлення.

Дефекти та переробка (Defects/Rework) - 10-15% часу. Повернення завдань на доопрацювання через нечіткі вхідні вимоги або непорозуміння між замовником та виконавцем. Кожна ітерація виправлення вимагає повторного проходження всього циклу перевірки.

Невикористаний людський потенціал. Висококваліфіковані інженери витрачають час на рутинні адміністративні задачі (заповнення таблиць, форматування), замість того щоб займатися інноваціями та оптимізацією конструкції [42; 46].



Рисунок 2.3 - Структура витрат робочого часу

Джерело: розроблено автором

Таким чином, ключовими проблемами підрозділу є нетехнологічний характер затримок та відсутність системного підходу до управління потоком робіт. Існуюча модель управління генерує штучні черги завдань, розмиває відповідальність за кінцевий результат та перевантажує керівника адміністративною роботою. Для вирішення цих проблем необхідний фундаментальний перехід від культури контролю та ізоляції до культури довіри, прозорості та спільної відповідальності, що є основою Agile-трансформації [47; 48].

Висновки до розділу 2

Діагностика системи управління інженерного підрозділу виявила, що вона побудована за класичною ієрархічною моделлю з високим ступенем централізації. Встановлено, що попри наявність кваліфікованого персоналу, ефективність роботи стримується лінійним характером процесів та надмірним навантаженням на керівника (Team Lead), який виступає "вузьким місцем" у розподілі завдань та комунікації. Відсутність автоматизованого планування призводить до нерівномірного завантаження інженерів та простоїв в очікуванні рішень .

Аналіз цифрового середовища засвідчив його фрагментарність та низьку ефективність. Система ETAC, яка мала б бути інструментом оперативного трекінгу, фактично виконує роль пасивного архіву через відсутність інтеграції з іншими платформами (OneNote) та ручний режим оновлення даних. Домінування неструктурованої комунікації (email) та відсутність регулярних синхронізаційних ритуалів створюють інформаційний вакуум та ускладнюють моніторинг реального прогресу виконання проєктів .

Виявлено, що головними бар'єрами продуктивності є надмірна бюрократизація процесів погодження та відсутність управління знаннями. Процедури затвердження документації функціонують як "чорна скринька" без чітких часових рамок (SLA), що унеможлиблює точне прогнозування термінів. Відсутність формалізованих регламентів та бази знань підвищує ризик

помилки та залежність від індивідуального досвіду співробітників. Сукупність цих факторів генерує значні непродуктивні втрати часу (Waiting, Over-processing), що підтверджує необхідність переходу до гнучкої моделі управління.

РОЗДІЛ 3

ТРАНСФОРМАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПІДРОЗДІЛОМ НА ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ AGILE

3.1 Розробка гібридної моделі управління (Scrum/Kanban) для інженерного підрозділу

На основі результатів діагностики, проведеної у другому розділі, було встановлено, що критичними проблемами інженерного підрозділу є непрозорість потоку завдань, нерівномірність навантаження та розриви в комунікації. Враховуючи специфіку авіаційної інженерії - високу вартість помилки, необхідність суворого дотримання стандартів та тривалі цикли погоджень - застосування "чистих" Agile-фреймворків є ризикованим. Scrum з його жорсткими часовими рамками спринтів може бути неефективним через непередбачувані затримки у зовнішніх стейкхолдерів, а Kanban без ритмічності може призвести до втрати фокусу на довгострокових цілях [5; 15].

У відповідь на ці виклики розроблено гібридну модель управління (Scrumban), яка інтегрує структурну дисципліну Scrum із потоковою гнучкістю Kanban. Ця модель дозволяє зберегти необхідний рівень контролю та відповідності стандартам (Compliance), водночас забезпечуючи прозорість виконання завдань та підвищення автономності команди [5; 12].

Розроблена модель базується на трьох взаємопов'язаних компонентах: системі візуалізації потоку (Kanban-дошка), системі ритмічності (каденції) та трансформованій рольовій структурі.

Центральним елементом операційної системи підрозділу стає єдина цифрова Kanban-дошка, реалізована на базі корпоративних інструментів (Jira або MS Planner) з інтеграцією посилань на ETAC. Вона замінює фрагментовані канали комунікації та забезпечує "єдину версію правди" для всіх учасників процесу. Структура дошки адаптована до життєвого циклу інженерної задачі та включає наступні етапи [14; 16]:

- Backlog (беклог) - накопичувач усіх запитів, що надходять до підрозділу. Тут відбувається первинна оцінка та пріоритезація завдань. За це відповідає Керівник, який виступає в ролі Product Owner;
- To Do (План на тиждень) - черга завдань, відібраних для реалізації у поточному циклі. На цьому етапі завдання повинні відповідати критеріям "Definition of Ready" (наявність вхідних даних, зрозумілі вимоги);
- In Progress (в роботі) - етап активного проєктування. Тут вводиться жорсткий ліміт незавершеної роботи (WIP - Work In Progress) - не більше 2 активних карток на одного інженера. Це критично важливо для боротьби з багатозадачністю, яка, згідно з дослідженнями, знижує продуктивність на 20-40% [24];
- Verification (внутрішня перевірка) - зона відповідальності чекерів. Для уникнення накопичення черг тут також діє ліміт WIP. Якщо кількість карток у цій колонці перевищує ліміт, команда зупиняє взяття нових завдань і допомагає чекерам (принцип "Swarming");
- Approval (зовнішнє погодження) - етап очікування візи від суміжних відділів. Оскільки цей процес часто є "чорною скринькою", на дошці вводиться візуалізація часу перебування картки в цьому статусі (Aging). Якщо картка знаходиться тут більше 3 днів, вона автоматично маркується як "Blocked", що є сигналом для втручання Керівника;
- Done (завершено) - фінальний стан. Завдання вважається виконаним лише за умови відповідності критеріям "Definition of Done" (DoD): модель збережено, креслення підписано, статус в ETAC закрито [6].

Візуальну схему проєктування дошки відображено на рис. 3.1, а детальні параметри функціонування кожного етапу (ліміти WIP та критерії виходу) зведено в табл. 3.1.

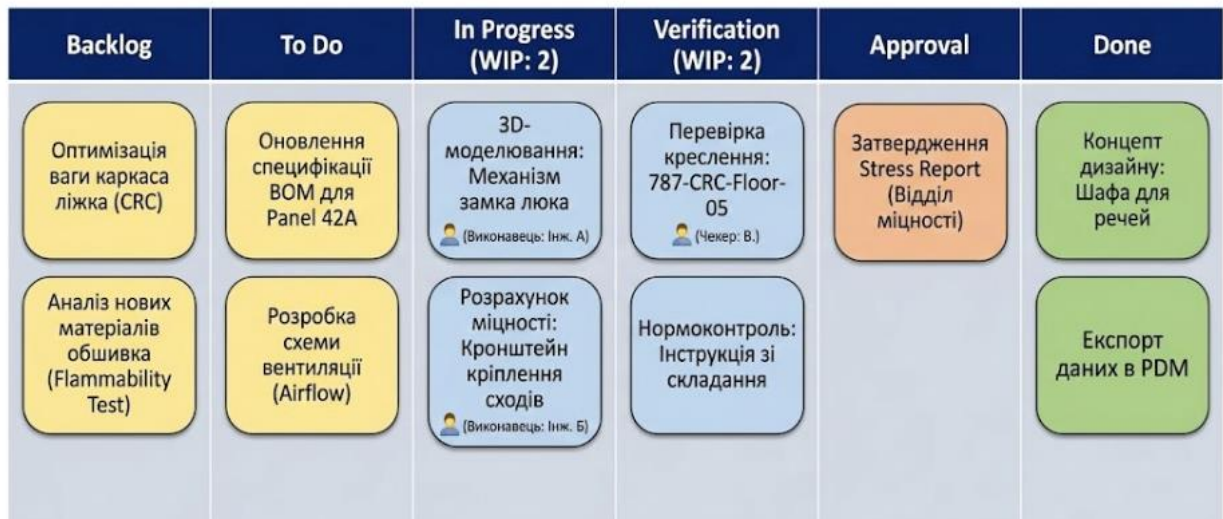


Рисунок 3.1 - Схема проєктованої Kanban-дошки з лімітами WIP

Джерело: Складено автором на основі [14; 15]

Таблиця 3.1 - Структура Kanban-дошки та правила переміщення (TO BE)

Колонка (Етап)	Призначення	Ліміт WIP (на команду)	Критерії виходу (Exit Criteria)
To Do	План на тиждень	-	Наявність вхідних даних (Definition of Ready)
In Progress	Активне проєктування	8	3D-модель готова, самоперевірка виконана
Verification	Перевірка чекером	3	Відсутність критичних зауважень
Approval	Зовнішнє погодження	-	Отримано візи суміжних відділів
Done	Завершено	-	Статус в ETAC закрито, дані в PDM (Definition of Done)

Для подолання комунікаційного вакууму та забезпечення узгодженості дій впроваджується система регулярних заходів (каденцій), що структурують робочий час команди:

- щоденний стендап (Daily Stand-up) - коротка 15-хвилинна зустріч на початку робочого дня біля візуальної дошки. Мета заходу - не звітність перед керівником, а синхронізація команди. Учасники відповідають на три питання: що зроблено для досягнення цілі, що планується зробити, які є перешкоди (Impediments). Це дозволяє оперативно виявляти та усувати блокери [8; 13];

- тижневе планування (Replenishment meeting) - замість жорсткого планування спринту на 2-4 тижні, пропонується проводити щотижневу зустріч для поповнення черги "To Do". Команда спільно з Керівником обирає найбільш пріоритетні задачі з Беклогу, враховуючи доступну ємність ресурсів. Такий підхід (pull-система) дозволяє гнучко реагувати на термінові запити від виробництва без руйнування планів [11; 35];

- ретроспектива (Retrospective) - проводиться раз на два тижні. Це ключовий інструмент постійного вдосконалення (Kaizen). Команда аналізує не технічні аспекти (що ми зробили?), а процесні (як ми працювали?). Результатом ретроспективи є план дій щодо усунення системних проблем (наприклад, оптимізація шаблонів або зміна часу нарад) [17].

3. Перехід до гібридної моделі вимагає зміни рольової парадигми без формальної зміни штатних посад [29; 9]:

- керівник (Team Lead) → Product Owner + Agile Leader. Він відмовляється від ролі диспетчера, який вручну розподіляє завдання. Його основний фокус зміщується на управління пріоритетами (що робити?) та усунення зовнішніх перешкод для команди. Він також відповідає за наповнення та впорядкування Беклогу;

- чекери → Quality Assurance (QA). Їхня роль трансформується від фінального контролера до партнера по забезпеченню якості. Вони залучаються до обговорення складних задач на ранніх стадіях, що дозволяє попередити помилки ще до початку проектування (Shift Left Testing) [22];

- інженери → Самоорганізована команда (Development Team). Вони отримують право самостійно брати завдання з колонки "To Do" відповідно до

пріоритетів та своїх компетенцій. Вони несуть колективну відповідальність за дотримання WIP-лімітів та своєчасне оновлення статусів на дошці.

Узагальнена матриця трансформації ролей та розподілу відповідальності у новій моделі представлена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Трансформація рольової моделі (Role Mapping)

Посада (Штатна)	Роль у Scrumban (Функціональна)	Нові зони відповідальності
Team Lead	Product Owner + Agile Leader	Пріоритезація Беклогу; усунення блокерів; фасилітація, а не контроль
Design Engineer	Development Team Member	Самостійний вибір задач (Pull); оновлення статусів; участь у стендапах
Checker	Quality Assurance (QA)	Раннє залучення до планування; менторство інженерів; контроль DoD

Запропонована модель Scrumban розроблена з урахуванням необхідності дотримання стандартів DO-178C/DO-254. Кожна картка на Kanban-дошці пов'язана з відповідним записом у системі ETAC через унікальний ID. Переміщення картки в статус "Done" можливе лише за умови виконання чек-листа DoD, який включає вимоги щодо оновлення технічної документації та проходження верифікації. Це гарантує, що гнучкість процесів не призведе до порушення вимог сертифікації [23; 26].

Впровадження розробленої гібридної моделі дозволить комплексно вирішити проблеми, виявлені на етапі діагностики:

1. Прозорість та керованість - керівництво отримує інструмент моніторингу реального стану справ у режимі реального часу, що усуває потребу в постійних звітах та нарадах;

2. Прискорення потоку (Flow Efficiency) - обмеження WIP та візуалізація блокерів дозволяють скоротити час очікування та перемикання контексту, що, за законом Літтла, призводить до зменшення Cycle Time [24];

3. Покращення комунікації - регулярні синхронізаційні ритуали руйнують інформаційні бар'єри між інженерами, сприяють обміну знаннями та швидшому вирішенню проблем [48].

Таким чином, запропонована модель Scrumban створює адаптивну операційну систему, яка здатна ефективно функціонувати в умовах високої невизначеності та динамічних змін, характерних для сучасної авіаційної промисловості.

3.2 Модель поетапного впровадження Agile-трансформації та дорожня карта змін

Впровадження запропонованої гібридної моделі (Scrumban) в інженерному підрозділі є складним організаційним проектом, який не може бути реалізований одномоментно методом "шокової терапії". Специфіка авіаційної галузі, висока завантаженість персоналу поточними завданнями та необхідність безперебійної підтримки програми 787 вимагають еволюційного, поетапного підходу. Розроблена модель трансформації базується на принципах управління змінами (ADKAR або модель Коттера) і розрахована на період 6-9 місяців до досягнення повної операційної зрілості [29; 30].

Дорожня карта трансформації (Transformation Roadmap) - процес впровадження структуровано у чотири послідовні фази, кожна з яких має чіткі цілі, інструментарій та критерії переходу до наступного етапу (Quality Gates).

Фаза 1 - підготовка та створення інфраструктури (місяць 1).

Метою цього етапу є створення необхідного технічного та ментального підґрунтя для змін без порушення поточних виробничих процесів, а саме:

- технічна підготовка - розгортання цифрового середовища. Створення проекту в Jira/MS Planner, налаштування інтеграції з ETAC (або розробка регламенту ручної синхронізації). Конфігурація Kanban-дошки з

колонками, що відповідають життєвому циклу задачі: "Backlog", "Ready to Start", "In Progress", "Verification", "Approval", "Done";

- навчання та комунікація - проведення серії воркшопів для команди ("Agile Fundamentals"), на яких роз'яснюється суть змін, переваги нової моделі та правила гри. Це критично важливо для зниження опору змінам;
- організаційні зміни - призначення відповідальних ролей. Керівник офіційно бере на себе роль Product Owner, а один із найбільш ініціативних інженерів призначається Agile Master (фасилітатором) на ротаційній основі [9];
- результат фази - сформовано та пріоритезовано беклог завдань. Команда розуміє нові правила, інструменти готові до роботи.

Фаза 2 - пілотування (місяці 2-3).

Запуск нових процесів у "безпечному режимі" на обмеженому обсязі завдань або з однією підгрупою інженерів:

- запуск ритму - старт роботи за системою Scrumban. Впровадження щоденних стендапів (15 хв) біля дошки. Запуск перших тижневих циклів планування (Replenishment). На цьому етапі критично важливо не вимагати ідеального дотримання метрик, а налагодити регулярність зустрічей;
- супровід - керівник активно допомагає команді, виступаючи в ролі ментора: нагадує оновлювати статуси, модерує дискусії, допомагає вирішувати перші конфлікти;
- перші ретроспективи - проведення аналізу перших спринтів. Мета - не пошук винних, а налаштування процесу під реалії команди (наприклад, зміна часу стендапу або коригування колонок на дошці);
- результат фази - процес стабілізовано. Виявлено та усунуто "дитячі хвороби" нової системи. Команда звикла до прозорості.

Фаза 3 - масштабування та стандартизація (місяці 4-6).

Перехід від експерименту до стандарту роботи для всього підрозділу, включаючи взаємодію з чекерами:

- поглиблення практик - впровадження жорстких лімітів WIP (Work In Progress) для боротьби з багатозадачністю. Інженери починають працювати за принципом "Stop starting, start finishing";
- управління якістю - уніфікація правил "Definition of Done" для всіх типів завдань. Впровадження обов'язкових чек-листів перед переміщенням картки на етап перевірки;
- розширення контуру - підключення до процесу суміжних підрозділів (наприклад, надання їм доступу до Kanban-дошки для перегляду статусу їхніх запитів у режимі "View Only"). Це знижує кількість відволікаючих запитів "коли буде готово?" [28];
- результат фази - стабілізація потоку завдань. Зменшення часу очікування (Waiting Time). Усі інженери та чекери працюють в єдиному ритмі, система ETAC оновлюється синхронно з дошкою.

Фаза 4 - інституціоналізація та оптимізація (місяць 7+).

Закріплення змін у культурі підрозділу та перехід до безперервного вдосконалення:

- Data-Driven Management - перехід до управління на основі даних. Аналіз накопиченої статистики, побудова діаграм Cumulative Flow Diagram (CFD) для виявлення системних проблем;
- автономія - команда перебирає на себе повну відповідальність за процес, керівник остаточно виходить з ролі мікроменеджера, фокусуючись на стратегії та розвитку людей [47];
- управління знаннями - формування та наповнення Бази знань (Knowledge Base) з кращими практиками, шаблонами рішень та уроками, вивченими на ретроспективах;
- результат фази - Agile-практики стали частиною ДНК підрозділу. Процес самовдосконалення відбувається автоматично.

Візуалізацію етапності трансформації наведено на рис. 3.2, а деталізований план заходів з очікуваними результатами зведено в табл. 3.3.



Рисунок 3.2 - Дорожня карта (Roadmap) впровадження Agile-трансформації
Джерело: Розроблено автором

Таблиця 3.3 - Дорожня карта впровадження змін (Implementation Roadmap)

Фаза	Термін	Ключові заходи	Очікуваний результат (Deliverable)
1. Підготовка	1 міс.	Навчання команди; налаштування Jira/Kanban; формування Беклогу	Інфраструктура готова; команда розуміє правила
2. Пілотування	2-3 міс.	Запуск стендапів; перші тижневі цикли; ручна синхронізація з ETAC	Стабілізація ритму; виявлення перших проблем
3. Масштабування	4-6 міс.	Впровадження лімітів WIP; підключення суміжників (view-only); уніфікація DoD	Зменшення черг; прозорість для зовнішніх замовників
4. Оптимізація	7+ міс.	Аналіз метрик (CFD, Cycle Time); передача відповідальності команді	Культура постійного вдосконалення (Kaizen)

Система моніторингу та KPI. Для об'єктивної оцінки успішності впровадження дорожньої карти розроблено систему збалансованих показників (Balanced Scorecard). Це дозволяє відійти від суб'єктивних відчуттів до вимірюваних фактів.

1. Операційні метрики (Efficiency):
 - Cycle Time - середній час проходження задачі від взяття в роботу до закриття. Цільове значення: скорочення з 9 до 4-5 днів;

- Throughput - кількість завдань (або Story Points), завершених за тиждень. Показник має демонструвати стабільність або зростання тренду;

- WIP (Work In Progress) - кількість активних завдань одночасно.

Ціль: стабілізація на рівні не більше 2-3 карток на інженера [2].

2. Метрики якості (Quality):

- First Time Yield (FTY) - відсоток завдань, які пройшли перевірку чекера з першого разу без повернення на доопрацювання. Ціль: >80%;

- Defect Rate - кількість помилок, виявлених на пізніх етапах (після випуску документації).

3. Організаційні метрики (Adoption & Health):

- Agile Adoption Rate - відсоток команди, що активно та дисципліновано бере участь у ритуалах (стендапи, ретроспективи). Ціль: >90%;

- Blocked Task Ratio - частка часу, коли завдання заблоковані через зовнішні причини. Ціль: <15%;

- Employee Satisfaction (eNPS): Рівень задоволеності співробітників новими процесами (вимірюється через анонімні опитування).

Зведену систему показників ефективності (KPI) та цільові значення для кожного з них наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Система збалансованих показників ефективності (KPI)

Група показників	Метрика	Метод розрахунку	Цільове значення
Ефективність	Cycle Time	Час від "In Progress" до "Done"	Скорочення на 50%
Стабільність	Throughput	Кількість закритих задач за тиждень	Стабільний ріст
Якість	First Time Yield	% задач, прийнятих чекером з 1-го разу	> 80%
Організація	Blocked Ratio	% часу, коли задачі заблоковані	< 15%

Управління опором змінам (Change Management).

Реалізація дорожньої карти неминуче зіштовхнеться з психологічним опором персоналу. Для мінімізації цього ризику в моделі передбачено механізми "м'якої сили":

- демонстрація швидких перемог (Quick Wins) - акцент на тому, як візуалізація вже у перший місяць зменшила кількість непотрібних нарад та листів, полегшивши життя інженерам;
- залучення (Involvement) - правила роботи не спускаються згори як наказ, а виробляються командою спільно на воркшопах. Кожен має право голосу;
- прозорість лідера - керівник першим починає жити за новими правилами, оновлюючи свої задачі на дошці та відкрито визнаючи проблеми, що будує довіру [49].

Таким чином, запропонована модель впровадження є не просто графіком заходів, а структурованим алгоритмом культурної та операційної трансформації, що забезпечує перехід від хаотичного управління до системного, прозорого та вимірюваного процесу.

3.3 Оцінка ризиків та економічне обґрунтування ефективності запропонованих рішень

Впровадження будь-яких організаційних змін в авіаційній промисловості неминуче пов'язане з ризиками опору середовища, тимчасового зниження продуктивності на етапі адаптації та потенційного конфлікту з чинними регламентами. Водночас, кінцевою метою трансформації є не просто впровадження нових інструментів, а досягнення вимірюваного економічного ефекту та підвищення конкурентоспроможності підрозділу. У цьому підрозділі проведено комплексний аналіз потенційних загроз реалізації проєкту та детальний розрахунок очікуваної ефективності запропонованої гібридної моделі [43; 37].

На основі діагностики корпоративної культури та аналізу світового досвіду Agile-трансформацій в інженерному секторі, було ідентифіковано три ключові групи ризиків, які можуть заблокувати або сповільнити впровадження змін (детальний реєстр ризиків з оцінкою ймовірності та впливу наведено в табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Реєстр ризиків проекту трансформації

Ризик	Ймовірність	Вплив	Стратегія мітигації (запобігання)
Опір персоналу ("Саботаж")	Висока	Критичний	Залучення команди до розробки правил (Co-creation); демонстрація "швидких перемог"
Конфлікт з процедурами (Compliance)	Середня	Високий	Використання моделі "Agile within V-Model"; збереження формальної звітності назовні
Перевантаження керівника	Середня	Середній	Делегування ролі фасилітатора; автоматизація оновлень статусів

Опір персоналу це найбільш ймовірна та небезпечна загроза. Інженери, які роками працювали в системі директивного управління, можуть сприймати необхідність самоорганізації та прозорості як додаткове навантаження або загрозу їхній експертній автономії. Існує ризик "італійського страйку" або формального виконання ритуалів без розуміння їх суті (феномен "Cargo Cult Agile"), коли дошка ведеться, але реальні проблеми не обговорюються [29; 47].

Застосування підходу "Co-creation" (співтворчість). Замість спущених зверху інструкцій, параметри процесу (час стендапу, ліміти WIP, структура дошки) визначаються колективно на воркшопах. Керівник повинен демонструвати рольову модель поведінки, першим визнаючи помилки та відкриваючи свої задачі. Важливим є також акцент на "швидких перемогах" (Quick Wins) - наприклад, скасування непотрібних звітів як результат впровадження Kanban.

Перехід до моделі Scrumban вимагає від керівника підрозділу (Team Lead) фундаментальної зміни управлінського фокусу, зміщуючи акценти з мікроменеджменту та диспетчеризації завдань на фасилітацію та усунення перешкод. У цьому процесі існує високий ризик того, що керівник не зможе повноцінно делегувати операційний контроль, що може призвести до його емоційного вигорання та блокування прийняття рішень (виникнення «bottleneck effect») [30]. Для мінімізації цього ризику необхідно здійснити чіткий розподіл зон відповідальності, зокрема делегувати функції модератора стендапів та ретроспектив змінним членам команди, які виконуватимуть роль Agile Master на ротаційній основі. Крім того, доцільним є впровадження автоматизації рутинних дій у системі ЕТАС, таких як автоматичні нагадування та генерація статусів, що дозволить суттєво зменшити адміністративне навантаження.

Також гнучкість внутрішніх процесів команди може увійти в конфлікт із жорсткістю зовнішніх регламентів компанії, наприклад, фіксованими датами релізів, вимогами до паперового документообігу або проведення аудитів. Вирішенням цієї проблеми є використання архітектурного підходу «Agile within V-Model», при якому внутрішні процеси команди будуються на гнучких принципах, але назовні, через «інтерфейс взаємодії», підрозділ видає результати у форматі та строки, що повністю відповідають корпоративним стандартам. Така організація роботи створює своєрідну «буферну зону», завдяки якій команда залишається захищеною від зайвої бюрократії, водночас забезпечуючи компанію необхідною звітністю [42].

Економічний ефект від впровадження гібридної моделі формується не за рахунок скорочення персоналу, а завдяки усуненню непродуктивних втрат часу та підвищенню пропускну здатності підрозділу. Розрахунок базується на порівняльному аналізі поточних показників ефективності та прогнозних значень цільового стану після шести місяців трансформації.

Завдяки візуалізації потоку, обмеженню незавершеної роботи та оперативному усуненню блокерів на щоденних стендапах прогнозується

скорочення середнього часу виконання типової інженерної задачі з 9 до 4,5 робочих днів. Пришвидшення оборотності завдань дозволяє команді виконувати більший обсяг роботи за той самий календарний період, що фактично еквівалентно збільшенню виробничої потужності підрозділу без капітальних витрат на найм нових працівників або закупівлю додаткових ліцензій програмного забезпечення [36].

Впровадження практики раннього фідбеку, залучення чекерів до планування та встановлення чітких критеріїв готовності дозволить знизити частку завдань, що повертаються на доопрацювання, з 35% до 20%. Оскільки кожна ітерація виправлення помилки вимагає часу інженера, чекера та адміністратора, зменшення кількості таких ітерацій вивільняє близько 15% робочого часу кваліфікованого персоналу. Цей ресурс може бути спрямований на створення нової цінності, а не на виправлення старої [43].

Усунення ефекту «чорної скриньки» в процесах погодження та скорочення часу простоїв з 40 до 18 годин на місяць на команду має прямий монетарний вимір. Економія 22 годин простою на місяць для команди з 8 осіб генерує суттєву річну економію бюджету, розраховану на базі вартості години роботи інженера. Крім того, автоматизація трекінгу вивільняє 20% часу керівника за рахунок зниження частки мікронагляду, що дозволяє йому фокусуватися на стратегічному розвитку та інноваціях [48]

Порівняльний розрахунок ключових економічних показників до та після впровадження змін зведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 - Розрахунок економічної ефективності (AS IS vs TO BE)

Показник	Поточний стан (AS IS)	Прогноз (TO BE)	Економічний ефект
Середній Cycle Time	9 днів	4,5 днів	Зростання пропускної здатності в 2 рази
Частка переробок (Rework)	35%	20%	Економія 15% фонду робочого часу

Показник	Поточний стан (AS IS)	Прогноз (TO BE)	Економічний ефект
Витрати часу на адміністрування	50% часу керівника	30% часу керівника	Вивільнення 20% часу на стратегію
Непродуктивні простой (на команду)	40 годин/міс	18 годин/міс	Економія 22 людино-годин щомісяця

Для отримання повної картини ефективності проєкту необхідно здійснити монетизацію розрахованих часових показників. Переведення зекономленого часу у грошовий еквівалент дозволить оцінити пряму фінансову вигоду від впровадження Agile-трансформації.

Розрахунок здійснено на основі чисельності команди (8 осіб: 1 Team Lead, 5 Інженерів, 2 Чекери) та базової розрахункової вартості години роботи спеціаліста на рівні \$10/год.

Детальний розрахунок річного економічного ефекту наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 - Розрахунок монетарного ефекту від впровадження змін

Джерело економії	База розрахунку (на місяць)	Економія часу (годин/міс)	Економія коштів (\$/міс)*	Річний ефект (\$/рік)
Зниження простоїв (Idle Time)	Скорочення часу очікування віз та даних (22 год на команду)	22 год	\$220	\$2 640
Зменшення переробок (Rework)	15% фонду часу команди (8 осіб × 160 год × 15%)	192 год	\$1 920	\$23 040
Оптимізація адміністрування	20% часу Керівника (1 особа × 160 год × 20%)	32 год	\$320	\$3 840
РАЗОМ	Сумарна економія ресурсів	246 год	\$2 460	\$29 520

*Розрахунок виконано за базовою ставкою \$10/год.

Як свідчать дані таблиці 3.7, навіть за консервативної оцінки вартості робочого часу, сумарний річний економічний ефект від впровадження запропонованої моделі Scrumban складає \$29 520. Основну частку економії (близько 78%) забезпечує зниження рівня дефектності та переробок (Rework), що підтверджує тезу про те, що якість є найважливішим фактором економічної ефективності в авіабудуванні.

Вивільнені часові ресурси (246 годин на місяць) фактично еквівалентні появі у команді 1,5 додаткових штатних одиниць (FTE — Full Time Equivalent) без збільшення фонду оплати праці. Це дозволяє підрозділу виконувати більший обсяг завдань у межах існуючого бюджету, підвищуючи рентабельність інженерної діяльності.

Таким чином, трансформація системи управління дозволяє досягти суттєвої економії коштів вже у перший рік впровадження, що робить цей проєкт економічно обґрунтованим.

Окрім прямих фінансових вигод, трансформація забезпечує стратегічні переваги, які важко монетизувати в короткостроковій перспективі, але які є критичними для стійкості бізнесу (візуалізацію комплексного впливу наведено на рис. 3.3):

- підвищення прогнозованості (Predictability) - зростання показника вчасного виконання задач (On-time delivery) з 65% до 90% дозволяє компанії точніше планувати виробничі графіки та уникати штрафних санкцій за зрив контрактів;
- збереження інституційної пам'яті - перехід від усної передачі інформації до фіксації в Базі знань та картках Jira знижує залежність від конкретних особистостей та ризику втрати компетенцій при плинності кадрів;
- покращення морального клімату - зниження рівня стресу через аврари та прозорість навантаження позитивно впливає на утримання талантів (Retention Rate) [32; 42].

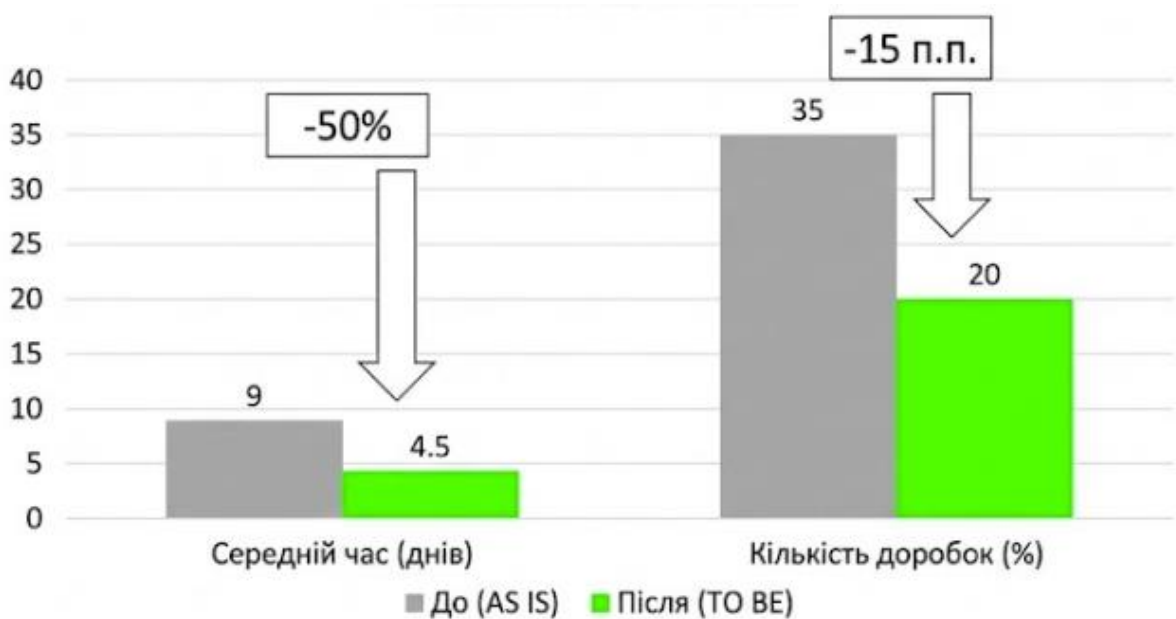


Рисунок 3.3 - Прогноз впливу впровадження на ключові показники ефективності

Джерело: розроблено автором

Проведені розрахунки свідчать, що проєкт Agile-трансформації є інвестиційно привабливим. Очікуване підвищення продуктивності праці та скорочення циклу розробки у 2 рази повністю виправдовують організаційні зусилля та час, витрачений на навчання та впровадження нових процесів. Запропонована модель дозволяє досягти оптимального балансу між інженерною якістю, безпекою та економічною ефективністю, що є ключовим фактором успіху в сучасній авіаційній індустрії.

Висновки до розділу 3

На основі діагностики проблемних зон інженерного підрозділу обґрунтовано та розроблено гібридну модель управління (Scrumban). Запропонований підхід поєднує структурну ритмічність Scrum (щоденні стендапи, регулярні ретроспективи) із гнучкістю потоку Kanban (візуалізація, ліміти WIP). Доведено, що саме така конфігурація є оптимальною для авіаційного середовища, оскільки вона дозволяє зберегти необхідний рівень

контролю та відповідності стандартам (Compliance) через інтеграцію "Definition of Done", водночас усуваючи інформаційні розриви та забезпечуючи прозорість виконання завдань у реальному часі. Трансформація ролі керівника з диспетчера на лідера-фасилітатора сприяє підвищенню автономності та відповідальності команди.

Сформовано покрокову дорожню карту (Roadmap) трансформації, розраховану на 6-9 місяців, яка передбачає чотири фази: від підготовки інфраструктури та пілотування до масштабування та інституціоналізації змін. Розроблено систему збалансованих показників (KPI), що включає операційні (Cycle Time, Throughput), якісні (Defect Rate) та організаційні (Adoption Rate) метрики. Це забезпечує керованість процесу змін та дозволяє переходити від інтуїтивного управління до менеджменту на основі даних, своєчасно виявляючи та коригуючи відхилення у процесах.

Проведений економічний аналіз підтвердив високу доцільність запропонованих змін. Розрахунки показують, що впровадження нової моделі дозволить скоротити середній цикл виконання завдання на 50% (з 9 до 4,5 днів) та зменшити частку переробок з 35% до 20%. Монетизація цих показників демонструє, що річний економічний ефект складе близько \$29 520, що еквівалентно залученню 1,5 додаткових штатних одиниць без збільшення фонду оплати праці. Ідентифіковані ризики (опір персоналу, конфлікт процедур) класифіковано як керовані, для чого розроблено відповідні стратегії мінімізації. Таким чином, проєкт Agile-трансформації забезпечує не лише оптимізацію процесів, а й прямий фінансовий результат.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо підвищення ефективності управління інженерним підрозділом авіабудівного підприємства шляхом впровадження адаптованих Agile-технологій.

Основні результати дослідження полягають у наступному:

1. У теоретико-методичному аспекті встановлено, що пряме копіювання Agile-практик з ІТ-сфери в авіацію є неможливим через жорсткі регуляторні вимоги та довгі життєві цикли виробів. Визначено, що оптимальним шляхом є використання гібридних моделей («Agile within V-Model»), які поєднують ітеративність розробки зі структурною дисципліною системної інженерії;

2. Дослідження нормативної бази (стандарти DO-178C, AS9100) довело, що Agile не суперечить вимогам безпеки, за умови автоматизації трасування вимог. Аналіз досвіду компаній-лідерів (Boeing, Airbus) підтвердив тренд на використання фреймворків масштабування (SAFe) та цифровізацію процесів для забезпечення відповідності («compliance»);

3. Узагальнення світової практики показало, що ключовими факторами успіху трансформації є не лише інструментальні зміни, а й перехід до культури лідерства-служіння та створення крос-функціональних команд;

4. Діагностика діючої системи управління в інженерному підрозділі компанії Boeing виявила критичні проблеми: лінійність процесів, «пляшкове горлечко» в особі керівника та відсутність оперативного трекінгу завдань. Система ETAS використовується як пасивний архів, а не інструмент управління;

5. Аналіз комунікацій показав домінування неструктурованого листування та відсутність синхронізаційних ритуалів, що призводить до інформаційного вакууму. Виявлено значні непродуктивні втрати часу (до 30% на очікування), спричинені бюрократизацією процедур погодження;

6. Ідентифіковано, що основні бар'єри продуктивності лежать в організаційній площині: відсутність регламентованих термінів (SLA) для перевірок та бази знань. Це створює умови для «ручного» управління та перевантаження кваліфікованого персоналу рутиною;

7. У якості проектного рішення розроблено та обґрунтовано гібридну модель Scrumban, яка інтегрує ритмічність Scrum (стендапи, ретроспективи) з візуалізацією потоку Kanban. Спроектовано цифрове середовище (Kanban-дошка), синхронізоване з системою ETAC, що забезпечує прозорість статусів завдань у реальному часі;

8. Розроблено детальну дорожню карту трансформації тривалістю 9 місяців, яка включає етапи підготовки, пілотування, масштабування та оптимізації. Запропоновано нову рольову модель, де керівник трансформується у Product Owner/Agile Leader, а команда отримує більшу автономність;

9. Економічні розрахунки підтвердили ефективність та інвестиційну привабливість запропонованого рішення: прогнозується скорочення циклу виконання завдань (Cycle Time) на 50% (з 9 до 4,5 днів) та зменшення кількості доробок на 15 п.п. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження моделі становить понад \$29 500, що досягається переважно за рахунок зниження непродуктивних втрат часу та підвищення якості проектних рішень. Система збалансованих показників (KPI) дозволить здійснювати моніторинг успішності змін та утримувати досягнуті результати.

За результатами дослідження сформовано наступні пропозиції для впровадження:

- впровадити гібридну цифрову систему управління (Scrumban environment): розгорнути єдину візуальну дошку завдань (на базі Jira або MS Planner), налаштувати її інтеграцію з корпоративною системою ETAC та встановити ліміти незавершеної роботи (WIP) для балансування навантаження на інженерів;

- трансформувати регламент взаємодії та контролю якості: затвердити нові процедури "Definition of Done" та "Definition of Ready", ввести обов'язкові щоденні стендапи (15 хв) та регулярні ретроспективи для аналізу процесів, а також залучати чекерів (QA) на ранніх етапах планування;
- створити централізовану Базу знань (Knowledge Base): систематизувати технічні інструкції, шаблони та кращі практики у форматі Wiki-ресурсу для пришвидшення адаптації нових співробітників та зменшення залежності від "племінних знань".

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуторов О. І. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посіб. Харків: ХНАУ, 2017. 272 с.
2. Wysocki R. K. Effective Project Management: Traditional, Agile, Extreme, Hybrid. 8th ed. Indianapolis: Wiley, 2019. 656 p.
3. Highsmith J. Agile Project Management: Creating Innovative Products. Boston: Addison-Wesley, 2009. 432 p.
4. Canty D. Agile for Project Managers. Boca Raton: CRC Press, 2015. 212 p.
5. Cobb C. G. The Project Manager's Guide to Mastering Agile: Principles and Practices for an Adaptive Approach. Hoboken: Wiley, 2015. 608 p.
6. Stellman A., Greene J. Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban. Beijing: O'Reilly Media, 2014. 397 p.
7. Liker J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004. 330 p.
8. Sutherland J. Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. New York: Crown Business, 2014. 256 p.
9. Appelo J. Management 3.0: Leading Agile Developers, Developing Agile Leaders. Boston: Addison-Wesley Professional, 2011. 464 p.
10. RTCA DO-178C. Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. Washington: RTCA, Inc., 2011. 116 p.
11. Boehm B., Turner R. Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed. Boston: Addison-Wesley, 2003. 304 p.
12. Douglass B. P. Agile Systems Engineering. Waltham: Morgan Kaufmann, 2015. 420 p.
13. Ockerman S., Reindl S. Mastering Professional Scrum: A Practitioner's Guide to Overcoming Challenges and Maximizing the Benefits of Agility. Boston: Addison-Wesley Professional, 2020. 240 p.
14. Brechner E. Agile Project Management with Kanban. Redmond: Microsoft Press, 2015. 160 p.

15. Anderson D. J. Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business. Sequim: Blue Hole Press, 2010. 278 p.
16. Крикавський Є. В., Леонов Ю. О., Чернописька Н. В. Логістика виробництва: підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 484 с.
17. Kniberg H., Skarin M. Kanban and Scrum: Making the Most of Both. Raleigh: Lulu.com, 2010. 120 p.
18. Vanderjack B. The Agile Edge: Managing Projects Effectively Using Agile Scrum. New York: Business Expert Press, 2015. 168 p.
19. Knaster R., Leffingwell D. SAFe 5.0 Distilled: Achieving Business Agility with the Scaled Agile Framework. Boston: Addison-Wesley Professional, 2020. 336 p.
20. Larman C., Vodde B. Scaling Lean & Agile Development: Thinking and Organizational Tools for Large-Scale Scrum. Boston: Addison-Wesley Professional, 2009. 368 p.
21. Habermehl R. et al. Systems Engineering: Fundamentals and Applications. Cham: Springer, 2019. 280 p.
22. Ebert C. Systematisches Requirements Engineering. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2019. 464 p.
23. Leffingwell D. Agile Software Requirements: Lean Requirements Practices for Teams, Programs, and the Enterprise. Boston: Addison-Wesley Professional, 2011. 560 p.
24. Poppendieck M., Poppendieck T. Lean Software Development: An Agile Toolkit. Boston: Addison-Wesley, 2003. 240 p.
25. Харченко В. П., Остроумов І. В. Авіоніка: підручник. Київ: НАУ, 2013. 284 с.
26. Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming: 20th International Conference, XP 2019, Montreal, QC, Canada, May 21-25, 2019, Proceedings / eds.: P. Kruchten, S. Fraser, F. Coallier. Cham: Springer, 2019. 315 p.
27. Данильян О. Г., Дзьобань О. П. Організація та методологія наукових досліджень: навч. посіб. Харків: Право, 2017. 448 с.

28. Мішеніна Г. А. Особливості та перспективи застосування Agile-методології в діяльності органів публічної влади // Юридичний науковий електронний журнал. 2020. № 4. С. 225-228.
29. Конінг П. Інструментарій Agile-лідера. Як створити самокеровані команди й успішно розвиватися / пер. з англ. О. Васильєва. Харків: Фабула, 2021. 224 с.
30. Moreira M. Being Agile: Your Roadmap to Successful Adoption of Agile. New York: Apress, 2013. 264 p.
31. Маруховська-Картунова О. О., Хромова О. І., Цой Т. В. Філософія науки та структура наукового знання: еволюція концептуальних підходів // Epistemological studies in Philosophy, Social and Political Sciences. 2023. Т. 6, № 2. С. 36-44.
32. Балабанова Л. В., Сардак О. В. Управління персоналом: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 468 с.
33. Данченко О. Б. Управління ризиками: навч. посіб. Київ: Університет економіки та права «КРОК», 2018. 286 с.
34. Кузьмін О. Є., Мельник О. Г. Менеджмент: підручник. Київ: Академвидав, 2018. 400 с.
35. Бушуєв С. Д., Бушуєва Н. С. Управління інноваційними проектами та програмами: підручник. Київ: Наук. світ, 2011. 568 с.
36. Микитюк П. П. Інноваційний менеджмент: підручник. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 492 с.
37. Ярошенко Ф. О., Бушуєв С. Д., Танака Х. Управління інноваційними проектами і програмами на основі системи знань P2M: монографія. Київ: Самміт-Книга, 2012. 272 с.
38. Балашов А. М. Менеджмент: навч. посіб. 3-тє вид., перероб. і доп. Київ: Ліра-К, 2022. 646 с.
39. Hanssen G. K., Dybå T., Mozelius P. Agile Software Development in Safety-Critical Software Development // 39th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications. Santander: IEEE, 2013. P. 297–304.

40. Орлова-Курилова О. В. Інформаційні системи в діагностиці технологічного менеджменту конкурентоспроможних підприємств // Агросвіт. 2020. № 13-14. С. 28-34.
41. Чумаченко І. В., Доценко Н. В. Управління проектами : підручник. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2020. 364 с.
42. Лахижа М. І. Agile-менеджмент у публічному управлінні: можливості та бар'єри // Публічне управління та митне адміністрування. 2020. № 1 (24). С. 58-64.
43. Чорна М. В., Глухова В. І. Оцінка ефективності використання гнучких методологій управління проектами в ІТ-сфері // Бізнес Інформ. 2020. № 2. С. 258-264.
44. Тесля Ю. М. Управління проектами: підручник. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ: Кондор, 2019. 556 с.
45. Співак І. Я., Мельник А. О. Особливості застосування методології Agile при розробці систем Інтернету речей (IoT) // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі. 2021. Вип. 9. С. 112-120.
46. Дружинін Є. А., Гайда А. Ю. Управління людськими ресурсами в проектах та програмах: навч. посіб. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2019. 124 с.
47. Березовська-Савчук Н. А. Управління ризиками підприємства: навч. посіб. Київ: Кондор, 2019. 224 с.
48. Литвин В. В. Управління людськими ресурсами в ІТ-проектах за методологією Scrum // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі. 2019. Вип. 5. С. 112-119.
49. Грант на власну справу // Дія: Єдиний державний вебпортал електронних послуг. URL: <https://diia.gov.ua/services/grant-na-vlasnu-spravu> (дата звернення: 11.01.2025).