

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі та алгоритми створення комп'ютерної
системи для моніторингу та оцінки стійкості
будівельної компанії
(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПЗМ-21-2
Фесенко Т.Г.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Федорченко В.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

Коваленко А.А.
(прізвище, ініціали)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

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

Освітня програма _____ Системне програмування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Фесенко Тетяні Григорівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі та алгоритми створення комп'ютерної системи для моніторингу та оцінки стійкості будівельної компанії

затверджена наказом по університету від “ 24 ” березня 2023 р. № 60 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 травня 2023 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

Програмна архітектура ERP (Enterprise Resource Planning), BIM (Building Information Modeling)

Система процесів управління будівельними проектами, визначена PMBOK Construction Стандарти ISO, GPM P5

Життєвий цикл реалізації будівельного проекту

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Огляд підходів до автоматизації управління виробничою компанією в параметрах сталого розвитку

Проаналізувати методи створення корпоративної системи сталеорієнтованого управління будівельною компанією

Запропонувати елементи комп'ютерної системи управління будівельною компанією, яка дозволяє здійснювати моніторинг і оцінку в параметрах сталого розвитку

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Слайд-презентація – 12 слайдів _____

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд підходів до автоматизації управління виробничою (будівельною) компанією	04.04.23–07.04.23	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	08.04.23–13.04.23	
3	Аналіз методів створення корпоративної системи. Вибір показників для оцінки	14.04.23–18.04.23	
4	Розробка елементів комп'ютерної системи управління сталістю будівельної компанії	19.04.23–25.04.23	
5	Проведення експериментів	26.04.23–03.05.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	04.05.23–08.05.23	
7	Подання керівникові кваліфікаційної роботи та її попередний захист	10.05.23–11.05.23	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	12.05.23–16.05.23	

Дата видачі завдання 27 березня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Федорченко В.М.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 108 с., 15 рис., 8 табл., 2 дод., 48 джерел.

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ, ІНДЕКС СТІЙКОСТІ, ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СТАЛЕ ВИРОБНИЦТВО, БУДІВНИЦТВО.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка теоретико-методичних та інформаційно-технічних рішень з підвищення ефективності моніторингу та оцінки параметрів сталого розвитку будівельної компанії.

У ході виконання кваліфікаційної роботи були досліджені сучасні підходи до автоматизації управління виробничою компанією в перспективі сталого розвитку. Інформаційні технології дозволяють вирішувати більшість проблем у галузі архітектури, проектування та будівництва. Інтеграція ERP та BIM має потенціал для покращення показників сталого розвитку будівельної галузі за рахунок розробки єдиної робочої платформи.

Визначено алгоритм створення системи сталого моніторингу ресурсів будівельного підприємства на основі застосування показників досягнення Цілей сталого розвитку. Для вимірювання сталоорієнтованості пропонується структура економічних, екологічних та соціальних показників. Систематичне обчислення і аналіз стійкості організації здійснюється із застосуванням системи «Sustainability Assessment», що обчислює індекс стійкості організації.

Розроблені інструменти оцінювання сталості процесів управління будівельними проектами є важливим інструментом для удосконалення та розвитку системи управління будівельними проектами в перспективі Цілей сталого розвитку.

ABSTRACT

Master's thesis: 108 pages, 15 figures, 8 tables, 2 appendices, 48 sources.

DECISION SUPPORT SYSTEM, ENTERPRISE RESOURCE PLANNING, SUSTAINABILITY INDEX, SUSTAINABILITY EVALUATION, SUSTAINABLE MANUFACTURING, CONSTRUCTION

The major goal of the qualification work is to develop theoretical-methodical and information-technical solutions for increasing the effectiveness of monitoring and evaluating the parameters of the sustainable development of the construction company.

During the qualification work, modern approaches to the automation of management of a manufacturing company from the perspective of sustainable development were investigated. Information technologies allow for solving most problems in architecture, design, and construction. The integration of ERP and BIM has the potential to improve the sustainability performance of the construction industry by developing a unified work platform.

The algorithm for creating a system for sustainable monitoring of the resources of a construction enterprise based on the application of indicators for achieving Sustainable Development Goals has been determined. A structure of economic, environmental, and social indicators is proposed to measure sustainability. Systematic calculation and analysis of the organization's sustainability is carried out using the "Sustainability Assessment" system, which calculates the organization's sustainability index.

The developed tools for assessing the sustainability of construction project management processes are essential tools for improving and developing the construction project management system from the perspective of the Sustainable Development Goals.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧОЮ КОМПАНІЄЮ В ПЕРСПЕКТИВІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	12
1.1 Сталоорієнтоване управління будівництвом: аналіз досліджень	12
1.2 Перспективи інтеграції принципів сталого розвитку в інформаційно-комунікаційні системи будівельної компанії.....	18
2 МЕТОДИ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНОЇ СИСТЕМИ СТАЛООРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНОЮ КОМПАНІЄЮ	26
2.1 Корпоративна інформаційна система сталоорієнтованого управління ресурсами.....	26
2.3 Модель оцінки сталого управління будівельними проєктами у процесах ініціації та планування	32
3 ЕЛЕМЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СТАЛООРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНОЮ КОМПАНІЄЮ	40
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	55
4.1 Застосування методики кількісної оцінки сталості управління будівельним проєктом	55
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	70
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	76
ДОДАТОК Б	84

Таблиця Б.1 – Характеристики сталості управління будівельним проектом у процесах ініціації та планування [47]	84
ДОДАТОК В Макет наукової статті для фахового видання	103
ДОДАТОК В Макет наукової статті для фахового видання.....	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ІКТ – інформаційно-комунікативні технології

ІТ – інформаційні технології

ISO – Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization)

BREEAM – метод оцінки екологічної ефективності будівель (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

LEED – вид добровільної сертифікації екологічного будівництва (Leadership in Energy and Environmental Design)

LBC – міжнародна програма сертифікації стійкого будівництва (Living Building Challenge)

BIM – інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling)

ERP – система планування ресурсів (Enterprise Resource Planning)

PMBOK – свод знань з управління проєктами (A Guide to the Project Management Body of Knowledge)

ЦСР (SDG) – Цілі сталого розвитку (Sustainable Development Goals)

МНК – метод найменших квадратів.

GPM P5 – Глобальний стандарт для сталого розвитку в управлінні проєктами (Green Project Management)

БМР – будівельно-монтажні роботи

ВСТУП

Сталість визначається через ефективне використання організаційних та виробничих технологій для досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР) [1]. Зважаючи на необхідність розвиватися в параметрах сталості, будівельна галузь ідентифікує відповідну кореляцію з ЦСР [2]. Стратегії та виробничі практики «стійкого будівництва» передбачають врахування всіх можливих екологічних, соціальних та економічних факторів, які впливають на зацікавлених сторін та загальний стан забудованого простору. Зокрема, будівельна індустрія відповідає на нові виклики стосовного ЦСР запровадженням нових стандартів (BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) [3], LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) [4], LBC (Living Building Challenge) [5]). Міжнародною організацією стандартизації (International Organization for Standardization, ISO) розроблено стандарти сталості щодо будівель і споруд, а також виконання відповідних інженерних робіт:

- ISO 21929-1. Стійкість в будівництві – індикатори стійкості. Частина 1: Платформа розробки індикаторів і базового набору індикатору для будівель;
- ISO 15392. Стійкість в будівництві та будівельних роботах – Загальні принципи;
- ISO/TR 21932. Стійкість в будівництві та будівельних роботах – Термінологія.

Водночас будівельні проекти також мають здійснюватися на більш високому рівні стійкості усіх організаційно-управлінських та виробничих процесів. Для досягнення операційної стійкості має враховуватися потрібний результат, що забезпечує ефективність в екологічному, економічному та соціальному аспектах. Зростаючий попит на стійкі бізнес-процеси призвів до значущих перетворень у системі знань з управління проектами [6]. Зокрема, розроблено «Глобальний стандарт GPM P5 для сталого розвитку в управлінні

проектами (GPM P5)» [7]. Вимірювання сталості проектного менеджменту включає вимірювання впливу проекту на зовнішнє та внутрішнє середовище. У такому контексті актуалізуються й питання різнобічного дослідження оцінки стійкості будівельних проектів з точки зору процесів проектного управління.

Застосування GPM P5 до управління будівельними проектами є важливим завданням для осіб, які приймають рішення. Специфіка виробництва будівельного «продукту», його ресурсоемкість вимагає й більш розгорнутої роботи з навколишнім середовищем будівельного проекту. Стало-орієнтованість будівельного проекту має бути представлена у процесах, інструментах, проектних діях протягом усього життєвого циклу. Надзвичайно важливими для оцінки сталості будівельних проектів є фази ініціації і планування, на яких визначаються основні вимоги та необхідні заходи. Саме ініціація та планування є ключовими для того, щоб перетворити ЦСР на практичні дії. Втім, незважаючи на загальну зацікавленість будівельних компаній у застосуванні стало-орієнтованих підходів до організації процесів управління, існує дефіцит інструментів для оцінки стійкості на ранніх етапах управління проектами [8]. Така актуалізація питання вимагає подальшої розробки нових та удосконалення існуючих інструментів оцінки стало-орієнтованості управління будівельними проектами.

Мета дослідження – розробка теоретико-методичних та інформаційно-технічних рішень з підвищення ефективності моніторингу та оцінки параметрів сталого розвитку будівельної компанії.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні завдання:

- проаналізувати сучасні IT-інструменти, підходи, рішення, які застосовуються для моніторингу і оцінки соціальної відповідальності та сталоорієнтованості системи управління виробничою компанією;

- визначити моделі, методи, інструменти, системи знань для управління проектами сталого будівництва;
- дослідити структуру бізнес-процесів будівельного проекту, параметри та індекси сталості результатів в галузі будівництва;
- розробити базові математичні моделі кількісної оцінки сталості управління будівельним проектом в процесах ініціації та планування на методологічній платформі проектного менеджменту РМВОК Construction та GPM P5;
- запропонувати комплекс рішень для автоматизованої оцінки та моніторингу сталості будівельної компанії, комп'ютерної програми «Sustainability Assessment».

1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧОЮ КОМПАНІЄЮ В ПЕРСПЕКТИВІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

1.1 Сталоорієнтоване управління будівництвом: аналіз досліджень

Дослідники розглядають планування проєкту як значний фактор, що сприяє успішній реалізації проєктів. У роботі [9] пропонується оцінювати рівень здійснення функції планування в параметрах «зрілості» проєктного менеджменту, його спроможності застосовувати необхідні інструменти та методи для зменшення невизначеності. Стверджується, що зріле планування робить цілі проєкту більш конкретними та зрозумілими для команди проєкту. З точки зору стійкості, зріле планування розглядається як базис для відстеження фактичного прогресу, у тому числі за екологічними та соціальними цілями сталого розвитку. Втім у роботі [9] пропонуються загальні рішення для підтримки внутрішньої сталості процесів планування, галузева специфіка проєкту не враховується.

Більшість дослідників віддають перевагу оцінці планування проєкту з точки зору процесу. При цьому вони керуються стандартом проєктного менеджменту РМВОК (Project Management Body of Knowledge) [10], у якому група процесів планування складає більше половини усіх проєктних процесів (24 з 49). Такі дослідження беруть до уваги цілі проєкту, які безпосередньо пов'язані зі стійкістю так званого «трикутника проєкту за РМВОК»: час, вартість, зміст і якість. В роботі [11] зазначено, що за умови «вбудови» питань сталого розвитку на різні рівні ієрархії планів проєкту, цілей сталого розвитку можна досягти шляхом «простого виконання плану» та «контролю на місячній/щотижневій основі». Проте таким інструментам роботи з ЦСР на фазі планування бракує гнучкості.

Разом з тим, розробляються рішення щодо інтеграції окремих ЦСР в систему проєктного менеджменту. У роботі [12] запропоновано рішення

щодо сталого управління будівельними проєктами в частині ЦСР:5 «Гендерна рівність». Зазначається, що гендерна логічна система є ефективною для виконання процесів управління стейхолдерами проєкту та формування якісного контексту архітектурно-планувальних рішень будівельних проєктів. У роботі [13] розглядається сталий розвиток проєктно-орієнтованого управління як спроможність системи менеджменту застосовувати гендермейнстрімінговий підхід. Запропонована модель оцінки гендерної зрілості організації на платформі моделі зрілості проєктного менеджменту. В роботі [14] описані базові принципи створення офісу гендерно-орієнтованого управління проєктами. Запропонована модель зрілості РМО_G в контексті областей знань з управління проєктами (РМВОК) та гендерно-сенситивними характеристиками зрілості. Однак стало-орієнтоване управління проєктами потребує розробки не лише часткових рішень, а й інтеграційних, що пропонують орієнтацію на усі 17 ЦСР. Крім того, важливим дослідницьким завданням для розробки стало-орієнтованого управління проєктами залишається урахування контекстуальних особливостей управління будівельними проєктами та програмами.

У роботі [15] оцінюються відповідні інструменти РМВОК у дослідженні практик інтеграції сталості в управління портфелями проєктів. Зазначається, що через динамічний характер проєктів, система управління портфелем проєктів має бути досить гнучкою. Особливо це важливо для управління портфелем з великою кількістю будівельних проєктів, які є різними не тільки за економічними показниками, а й екологічними та соціальними. Традиційні інструменти вибору проєктів зосереджуються передусім на економічних цілях, що призводить до втрати переваг, які могли б бути отримані за рахунок урахування соціальних та екологічних цілей. Запропонований у роботі [15] підхід до вибору будівельних проєктів для портфеля потребує подальшого розвитку не на загальній платформі РМВОК, а спеціально розробленій для будівельної індустрії РМВОК Construction [16]. Тим більше, що аналіз наявної літератури показав, що зміст і розуміння

стійкості може відрізнятись залежно від контексту (будівництво, інформаційні технології тощо). Автори огляду та аналізу релевантних публікацій [17] з'ясували, що 65 % публікацій по стійкість у проектному менеджменті присвячено конкретній галузі, з яких більшість (55 %) стосується будівельної галузі. Також у роботі [17] проаналізовано вплив стійкості на процеси та практику управління проектами. Продемонстровано, що такий вплив є чутливим на різних рівнях. Важливо, що наголошується на необхідності зміни парадигми управління проектами: від жорсткої керованості до гнучкості. Також критиці піддається РМВОК, який визначає внутрішні або зовнішні фактори середовища проекту, але не ідентифікує потенційні соціальні чи екологічні інтереси як фактори впливу.

Крім того, оцінка сталості для різних груп процесів управління проектом за РМВОК (ініціювання – планування – виконання – контроль – закриття) досліджена недостатньо, найбільше публікацій присвячено групі процесів виконання. Зокрема, у дослідженні [2] показників стійкості будівельних проектів на етапі виконання запропоновано 22 показники, згруповані у дві групи: екологічні та соціально-економічні. Ці показники відображають стійкі практики для будівельних майданчиків та є корисними для підрядників. Втім, зі зростанням усвідомлення необхідності застосування концепцій сталого розвитку в управлінні проектами, необхідно більше досліджувати стійкість у кореляції з усіма групами процесів управління проектами.

У дослідженні [18] презентують стало-орієнтоване планування проекту на концептуальному ґрунті стратегічного менеджменту Автор доводить, що характеристики стратегічного планування можуть бути ефективно включені в узагальнену структуру проектного менеджменту. Стверджується, що за рахунок стратегічного планування можна покращити внутрішню узгодженість інструментів та методів у групах процесів планування за РМВОК. Це, зі свого боку, уможливорює включення стало-орієнтованих процесів, оскільки стратегічне планування будується, зокрема, на основі

повноти стратегічних альтернатив та участі різноманітних груп зацікавлених сторін.

Дослідники стали все більше звертатися до проблем стійкості, і як мети проєкту, і як характеристики процесу, за допомогою якого керується проєкт. В роботі [19] пропонуються різні варіанти індикаторів для застосування на різних етапах будівельного проєкту, а передбачено вибір набору показників стійкості для забезпечення вимог різних фаз проєкту. В роботі [20] визначено 82 індикатори стійкості, пов'язані з практикою управління проєктами в будівельних проєктах. Їх класифікація на економічні, екологічні та соціальні показники стійкості була здійснена шляхом напівструктурованих інтерв'ю з експертами з будівництва. Це дослідження має практичну користь, оскільки пропонує практикам можливість вибрати необхідну комбінацію показників, залежно від того, яку спрямованість сталого розвитку вони хочуть забезпечити у своїх проєктах. В роботі [21] зазначено, що зазвичай будівельні підрядники не мають чіткого розуміння стійкості, визначальним параметром для них слугує продуктивність у плануванні та фінансовий успіх проєкту. Через це, автори пропонують використовувати фактор продуктивності будівництва для переконання підрядників у впровадженні механізмів стійкості в будівельному проєкті. У цьому дослідженні розроблено якісну модель для вимірювання показників стійкості будівельного проєкту із урахуванням тяжіння підрядників до продуктивності. В основу моделі покладені базові вимоги сталого розвитку, які представлені трьома підсистемами (економічна, екологічна, соціальна), а також цикли зворотного зв'язку між факторами, що впливають на стійкість і продуктивність будівництва. Дана модель є корисною, як для практиків, так і для дослідників, ілюструючи зв'язок між продуктивністю та стійкістю. Водночас, стійкість в управлінні будівельними проєктами має бути представлена комплексною концепцією, яка потребує системного мислення для реалізації.

В роботі [22] наголошується на значимості екологічних показників

стійкості для будівельних проєктів. Будівельна галузь вважається одним із найбільших учасників зміни клімату через споживання природних ресурсів і утворення парникових газів. Автори зазначають, що належне управління будівельними проєктами, зі стало-орієнтованою системою прийняття рішень і подальшим контролем, може пом'якшити цю проблему. У роботі [21] запропоновані інструменти, які лише частково відстежують стало-орієнтованість рішень щодо будівельних проєктів, а саме за трьома індикаторами: скорочення відходів, споживання енергії та викиди вуглецю. Подальший розвиток дослідження потребує розширення структури відповідних показників.

В роботі [23] досліджується використання практики планування інженерних будівельних проєктів для інтеграції вимог сталого розвитку. Застосовано якісні методи на основі контент-аналізу даних інтерв'ю проєктних менеджерів з інженерних будівельних об'єктів. Автори послуговуються концептом «стійке проєктне планування», у якому поєднано принципи стійкості з управлінськими процесами (контроль, реагування на ризики, досягнення консенсусу). Також представлено шкалу, яка оцінює рівень успішного планування проєкту з урахуванням стійкості та прогнозованого успіху проєктів будівельних інженерних проєктів у життєвому циклі проєкту. У цьому дослідженні зосереджено увагу на тому, як інтегрувати стійкість у будівельні проєкти з точки зору внутрішнього управління проєктами. Водночас, такі важливі для планування чинники зовнішнього середовища, як потреби зацікавлених сторін, а також управлінська задача їх збалансувати, потребують більш ґрунтовного дослідження.

Незважаючи на те, що наявні дослідження [9, 11–23] спрямовують увагу на сталість управління будівельними проєктами, переважна їх більшість розглядають планування проєкту безпосередньо як інструмент підтримки внутрішньої сталості протягом життєвого циклу проєкту. Залишається недослідженою проблема оцінки стійкості будівельних проєктів

з точки зору зовнішньої сталості, у тому числі досягнення ЦСР.

Високорівневий аналіз публікацій дозволяє визначити тенденції розвитку знань з управління будівельними проєктами. Бібліографічна карта візуалізує існуючі дослідницькі акценти, завдяки чому можна позначити перспективи для подальших наукових пошуків.

За пошуковим запитом «Construction | Project | Management | Knowledge» та обмеженням областей знань (Engineering, Business, Management and Accounting, Computer Science, Environmental Science і т.ін.) в наукометричній базі Scopus виявлено 6541 результатів (документів) за період з 1973 по 2023 роки. Слід відзначити, що за останні п'ять років інтерес до тематики управління знаннями в будівництві значно зростає, про що свідчить кількість публікацій: у 2018 році – 356, а у 2022 році – 496. Географія публікацій показує, що найбільш активно досліджують цю тематику представники університетів з США – 1376 публікацій, Великої Британії – 941 публікацій і Китаю – 699 публікацій. Дослідники з України мають 16 документів, у тому числі [3]. Виявлено, що найчастіше в документах використовувались терміни «project management» (3120 раз), «construction industry» (2111 раз), «knowledge management» (1180 раз).

Подальший бібліографічний аналіз здійснювався для документів 2022–2023 років. Використання програми VOSviewer дозволило в 513 публікаціях ідентифікувати 207 термінів та структурувати їх у 6 кластерів. На рисунку 1.1 наведена карта мережевої візуалізації ключових слів. Найбільшу частотність (occurrence) і міцність зв'язків (total link strength) мають терміни: «project management», «construction industry», «construction projects», «surveys».

проектами. Прийняття стандартів стійкості для проектів є складним через притаманний їм тимчасовий характер, який, здається, суперечить стабільним довгостроковим цілям сталого, збалансованого зростання [27].

Індустріалізація промисловості АЕС принесла значні покращення в автоматизації будівельних процесів. Мета полягає в тому, щоб зосередити зусилля на основних видах діяльності шляхом автоматизації виснажливих, схильних до помилок завдань. Однак впровадження інновацій на практиці не є таким гладким і пов'язане з багатьма проблемами в обміні інформацією та інтеграції систем [28].

Дослідження [29] показує, що інформаційна економіка значно більше зруйнована в будівельному бізнесі порівняно з виробництвом, програмним забезпеченням, медіа та індустрією розваг. Інформаційний потік все більше базується на цифровій передачі даних. Це означає, що, наприклад, передача даних на основі паперових документів зменшується в багатьох галузях промисловості, оскільки цифрова передача даних є значно швидшим і безпечнішим способом обміну інформацією з іншими людьми та організаціями [30]. Ця тенденція не така сильна в будівельній галузі, як в інших галузях, і операції на об'єкті все ще сильно базуються на паперових документах [31].

Гравці галузі намагалися використовувати багато програмного забезпечення для сталого розвитку для вирішення проблеми. Значного впливу можна досягти завдяки інтеграції систем ERP (Enterprise Resource Planning) і BIM (Building Information Modelling). Ця інтеграція забезпечує ефективну передачу знань шляхом гармонізації взаємодії кількох ізольованих відділів [32]. Багато показників стійкої ефективності не піддаються вимірюванню [33]. Таким чином, розуміння впливу інтеграції ERP та BIM на сталу ефективність компанії буде корисним для вирішення проблем шляхом впровадження практик сталого розвитку в тимчасові структури, успадковані проектом.

Сьогодні ERP є невід'ємною частиною будь-якого бізнес-підрозділу, і

переваги його використання широко відомі та визнані. У той же час застосування BIM-систем поступово розширюється в будівельній галузі. Тому інтеграція цих систем широко обговорюється серед практиків. Однак компанії все ще неохоче сприймають BIM та його інтеграцію з платформами ERP, незважаючи на привабливі перспективи створення оптимізованого та прибуткового робочого процесу.

Переважаюча залежність індустрії АЕС від паперової роботи є найпоширенішою причиною неефективності [34]. Незважаючи на те, що BIM містить централізовані дані про проектування, планування та виконання, це все ще фрагментоване рішення, яке не пов'язане з бізнес-процесами організації. Сьогодні багато провідних будівельних компаній вже впровадили платформи ERP і BIM. Ця реалізація створює надійну основу для системної інтеграції для синхронізації внутрішньо фрагментованих будівельних робіт. Ця інтеграція передбачає багато переваг, зокрема зменшення витратного, виснажливого та схильного до помилок введення даних для підтримки узгодженості системи.

Завданнями дослідження є вирішення наступних питань:

- 1) дослідити внесок системи ERP у стійкість, що включає переваги та проблеми застосування ERP у будівельній галузі від впровадження до операцій;
- 2) дослідити внесок рішення BIM у стійкість, включаючи переваги та проблеми застосування BIM протягом впровадження та операцій;
- 3) вивчити переваги сталого розвитку від інтеграції систем ERP та BIM у будівельну галузь;
- 4) вивчити існуючі проблеми та сучасний стан теми дослідження: основні причини нового бачення, еволюцію ідеї та поточні тенденції.

1.3 Концепція методологічної платформи управління проектами сталого будівництва

Методологічні основи сталого управління будівельними проектами визнані Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO). Відповідно до ISO, «стійкість будівельного проекту» визначається як система управління будівельним проектом, в якій інтегровані елементи екосистеми та її функції, що дає змогу збільшувати термін служби об'єкта на покоління. Інтеграція принципів стійкості, що стосуються будівель та інших будівельних робіт, передбачає дотримання загальних принципів:

- 1) досягати цілей шляхом прийняття справедливих, відповідальних та прозорих рішень;
- 2) постійне підвищення стійкості конструкції протягом життєвого циклу;
- 3) пошук балансу охорони навколишнього середовища, економічної ефективності та соціальних потреб;
- 4) оцінка впливу локальних проектів у глобальній перспективі;
- 5) застосування цілісного підходу в оцінці стійкості проекту будівництва;
- 6) залучення стейкхолдерів для багатопланового формування контексту проекту сталого будівництва;
- 7) оцінка наслідків прийнятих рішень у коротко-, середньо- та довгостроковій перспективі;
- 8) запобіжні заходи та управління ризиками та управління ризиками (управління ідентифікованими ризиками);
- 9) на інституційному рівні підтримується стійкість управління проектом будівництва;
- 10) доступність та прозорість інформації в процесах прийняття рішень у сфері управління стійкістю будівельних проектів.

Вищезазначені принципи розглядаються як основа для розробки системи критеріїв оцінки стійкості управління будівельним проєктом. Матриця характеристик для оцінки внеску об'єкта будівництва в сталий розвиток представлена в зонах захисту та аспектах будівлі, які впливають на ці сфери. Визначено такі сфери: екосистема, природні ресурси, здоров'я та добробут, соціальна рівність, культурна спадщина, економічне процвітання, економічний капітал. Стандарт ISO пропонує такі характеристики будівельного об'єкта з точки зору стійкості, як викиди в повітря; використання невідновлюваних ресурсів; споживання прісної води; утворення відходів; зміна цільового призначення землі; доступ до послуг; доступність; умови та якість повітря в приміщенні; адаптивність; витрати; ремонтпридатність; безпека; справність; естетична якість. Стандарти ISO корелюють із досягненням ЦСР (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Інтеграція ЦСР у стандарти ISO сталого розвитку в будівництві

Sustainable Development Goals (SDGs)	ISO/TR 15392	ISO 21929-1	ISO/TR 21932
1	2	3	4
Goal 1: No poverty (End poverty in all its forms everywhere)	–	–	–
Goal 2: Zero hunger (End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture)	–	–	–
Goal 3: Good health and well-being (Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages)	X	x	X

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Goal 4: Quality education (Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all)	x	x	x
Goal 5: Gender equality (Achieve gender equality and empower all women and girls)	x	x	x
Goal 6: Clean water and sanitation (Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all)	x	x	X
Goal 7: Affordable and clean energy (Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all)	x	x	X
Goal 8: Decent work and economic growth (Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all)	X	x	X
Goal 9: Industry, innovation and infrastructure (Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation)	X	X	x

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Goal 10: Reduced inequalities (Reduce inequality within and among countries)	X	x	X
Goal 11: Sustainable cities and communities (Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable)	X	X	X
Goal 12: Responsible consumption and production (Ensure sustainable consumption and production patterns)	X	X	x
Goal 13: Climate action (Take urgent action to combat climate change and its impacts)	X	x	X
Goal 14: Life below water (Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development)	X	X	X
Goal 15: Life on land (Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss).	X	x	X
Goal 16: Peace, justice and strong institutions (Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and	–	–	–

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
inclusive institutions at all levels)			
Goal 17: Partnerships for the goals (Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development)	–	–	–

– *no correlation*

X – *correlation of ISO standard with SDG*

x – *requires correlation*

Відсутність зв'язку з цілями 1, 2, 16 і 17 виглядає цілком логічним. Натомість відсутність зв'язку з цілями 4 і 5 є спірною. Екологічність у будівництві вимагає спеціальних знань, а отже, і особливих освітніх підходів. Таким чином, взаємозв'язок ЦСР зі стандартами ISO (таблиця 1.1) можна розглядати як певний рівень методології сталого управління будівельними проектами. «Відносини, які необхідно встановити» можуть бути об'єктом подальших досліджень і розробки стандартів і методологій управління проектами сталого будівництва.

2 МЕТОДИ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНОЇ СИСТЕМИ СТАЛООРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНОЮ КОМПАНІЄЮ

2.1 Корпоративна інформаційна система сталоорієнтованого управління ресурсами

Швидкі темпи технологічного прогресу принесли цифрові принципи до бачення сучасного підприємства. Завдяки цифровізації та автоматизації компанії покращують свою ефективність, надаючи технологічному прогресу важливу роль у своїй довгостроковій конкурентній стратегії [35]. Таким чином, «Підприємство майбутнього» зосереджується на спільних знаннях і бізнес-мудрості, щоб бути чуйним, інноваційним і гнучким у вирішенні проблем і прийнятті рішень на основі екологічних міркувань. Дотримуючись сучасних тенденцій у досягненні операційної досконалості, будівельна галузь використовує нові платформи в ряді додатків для проектування, планування, контролю планування тощо.

У 1980-х роках компанії використовували системи управління, шукаючи рішення, яке могло б координувати всі відділи організації на одній платформі. Крім того, завдяки постійному зростанню обсягу даних потреба в ефективному обміні даними між внутрішніми бізнес-підрозділами та зовнішніми партнерами спричинила розвиток інтегрованих інформаційних систем [35]. Це була не програма для підтримки окремої бізнес-функції, а скоріше складна система для управління щоденними операційними процесами у сфері фінансів, закупівель, інвентаризації, людських ресурсів тощо [35–37]. Крім того, система розширення Інтернету еволюціонувала від бек-офісу до функцій бізнес-аналітики, управління відносинами з клієнтами та постачальниками, охоплюючи електронний бізнес, електронну комерцію, електронні закупівлі, електронний уряд тощо [38]. Це також могло сприяти

особистому розвитку керівників у покращенні управлінських компетенцій [39].

Тому сьогодні немає аргументів на користь цілісності, ефективності та ефективності рішення ERP. Хоча спочатку основним драйвером була автоматизація управлінських звітів [40]. На рисунку 2.1 представлено еволюцію систем ERP, які є широко визнаним рішенням для управління [41], оснащено сучасними технологіями, щоб задовольнити технічні вимоги підприємства та сприяти корпоративній конкурентоспроможності [42], підходить для організацій будь-якого розміру та потреб бізнесу.

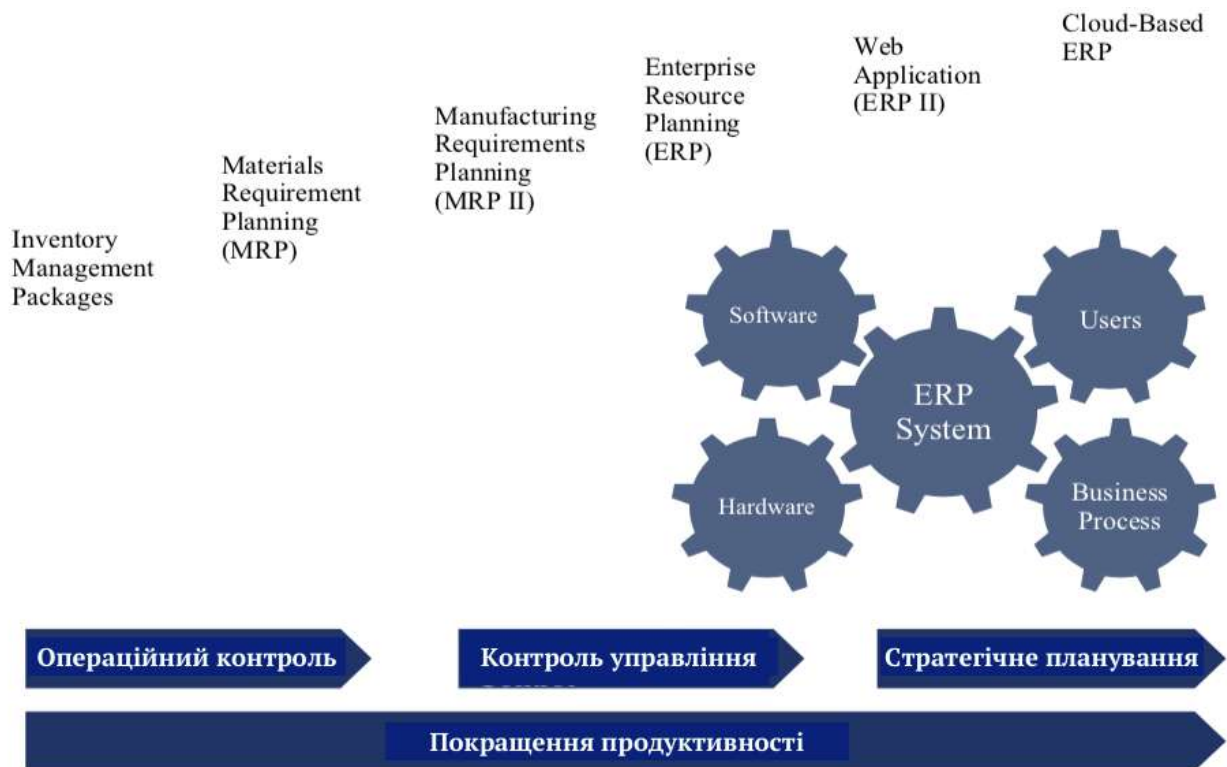


Рисунок 2.1 – Еволюція систем ERP

Завдяки автоматизації операційних процесів компанія отримує можливість розширити та розширити свої стійкі програми від команди проекту до інших зацікавлених сторін процесу. Спочатку компанії вважали ERP інтегрованим середовищем. Водночас це вимагає редизайну бізнес-процесів, що призводить до змін у робочому процесі (рисунок 2.2). Коли

компанія запроваджує систему, вона зменшує споживання паперу та перетворює фізичні місця зберігання на віртуальні. Крім того, це сприяє збереженню навколишнього середовища та вирішує питання конфіденційності.



Рисунок 2.2 – Перспективи впровадження ERP системи

Покращення прозорості даних, у свою чергу, допомагає визначити джерело відходів, шляхи оптимізації витрат і вирішення кількох проблем інвентаризації тощо. Краща видимість усієї операції та дані в реальному часі полегшують прийняття рішень щодо операційних, тактичних і стратегічних рівнях. Таким чином, орієнтація на сталий розвиток є рушійною силою у створенні цінності компанії, яка думає не лише про прибуток. Добре, коли компанія підвищує прибутковість, розвивається та створює цінність для акціонерів, її довгостроковою метою завжди буде сталий розвиток. У цьому відношенні ERP дозволяє особам, які приймають рішення, постійно відстежувати грошові потоки, правильно розподіляти ресурси, виявляти можливості економії та отримувати стійку конкурентну перевагу. Це означає синхронізацію збільшення прибутку з соціальними та екологічними

потребами.

Таким чином, коли компанія визначає обсяг робіт як проєкт, уся інформація, пов'язана з проєктом, повинна бути окреслена та відокремлена від щоденної рутинної діяльності. Тоді як своєчасна інтеграція управління проєктами в існуючі бізнес-процеси створює конкурентоспроможні стратегії в потоці ланцюга поставок, надаючи такі можливості, як:

- швидка адаптація та реагувати на динамічні реалії ринку;
- узгодження планування з постачальниками та покращення своєчасної взаємодії;
- надійна інтеграція та гнучкість;
- підвищення точності прогнозу та зменшення запасів;
- співпраця в розробці продукту.

2.2 Роль BIM-технологій у сталоорієнтованому будівництві

На відміну від ERP, BIM здатні розширювати свою сферу застосування до безвимірних характеристик, таких як підвищення стійкості. Незважаючи на широке обговорення переваги, які BIM приніс у галузь архітектури, проєктування та будівництва, компанії все ще не хочуть використовувати ці можливості. У роботі [43] вивели 38 бар'єрів для впровадження BIM та сталого розвитку в будівельній галузі:

- очікувані витрати/вигоди;
- необхідність інвестувати в BIM освіту та навчання персоналу;
- небажання змінювати усталену практику роботи;
- час, необхідний для адаптації до нових технологій;
- брак знань про робочі процеси BIM.

Будівництво та експлуатація будівель є одними з найбільш згубних впливів на навколишнє середовище в усіх галузях промисловості. Оцінка проєкту часто проводиться в кінці циклу будівництва або навіть під час

експлуатації. На цьому етапі будь-яке покращення сталої продуктивності або зменшення площі будівельних робіт є дорогим, трудомістким і іноді нездійсненним. Тому для того, щоб забезпечити більш стійкі результати, параметри сталого розвитку повинні бути включені в процес прийняття рішень під час попереднього будівництва в попередньому циклі проектування.

Перевагами застосування BIM на етапі проектування є:

- покращення акустичних вимірювань, вимірювань використання води, блискавкозахисту, розповсюдження вогню та інших за допомогою засобів моделювання;
- скорочення викидів вуглекислого газу для висотних будівель з урахуванням як вбудованого, так і експлуатаційного вуглецю;
- оцінка впливу на навколишнє середовище наприкінці фази проектування;
- рішення щодо поводження з відходами будівництва до введення об'єкту в експлуатацію;
- підвищення надійності оцінки моделі та зменшення обсягів ручної праці.

Загалом будівельна галузь значно покращує свою продуктивність шляхом систематичного впровадження інноваційної методології. Зростаючі соціальні вимоги спонукають до зсуву технологічних кордонів, щоб відповідати очікуванням зацікавлених сторін. Крім того, передові технології дозволяють архітекторам створювати більш складні конструкції. Інструменти BIM, які спочатку застосовувалися на етапах проектування та будівництва, можуть вирішити існуючі проблеми управління у всіх трьох аспектах сталого розвитку: соціальному, екологічному та економічному.

1 Екологічна стійкість в управлінні об'єктом. Комп'ютерні системи управління обслуговуванням, відстежують наслідки рішень, прийнятих протягом життєвого циклу продуктивності активів, дозволяють змінювати проект на кожному етапі. Таким чином, проблеми, які виникли під час

фактичного будівництва стійкого дизайну, можна вирішити шляхом застосування технологій BIM. Крім того, зростає інтерес до включення методології оцінки життєвого циклу (LCA), яку будівельна галузь прийняла в платформу BIM для вимірювання та покращення екологічних показників експлуатованих будівель [44].

2 Економічна стійкість в управлінні об'єктами. З точки зору фінансових показників, вартість експлуатації та обслуговування об'єкта стає більш передбачуваною. З цією метою BIM забезпечує необхідний пошук, аналіз і обробку даних у цифровому середовищі. Набагато довший, ніж цикли проектування та будівництва, цикл експлуатації та обслуговування приховує гідні можливості економії.

3 Аспекти соціальної стабільності в управлінні об'єктами. BIM є цінним доповненням до існуючих стандартів безпеки в процедурах, протоколах, інструкціях і навчанні, як ефективне джерело вимог для створення безпечних операцій. Крім того, системи з підтримкою BIM можуть полегшити виявлення та діагностику несправностей обладнання, тоді як можливості візуалізації дозволяють досліджувати причинно-наслідкові закономірності. Можливості використання детальних проектних креслень, специфікацій і моделей можуть підвищити продуктивність експлуатації та обслуговування.

Отже, будівельники все ж повинні оцінити роль циклу управління об'єктом і приділяти більше зусиль оптимізації і безперебійного потоку інформації шляхом надання високоякісних моделей BIM.

Як правило, в будівельному проєкті більше керованими є процеси, пов'язані безпосередньо з виконанням робіт на будівельному майданчику. Натомість, діяльність за межами об'єкта створює ризики та невизначеність. Потенціал зв'язати потоків даних пропонується інтеграція BIM із системою ERP (рисунок 2.3).

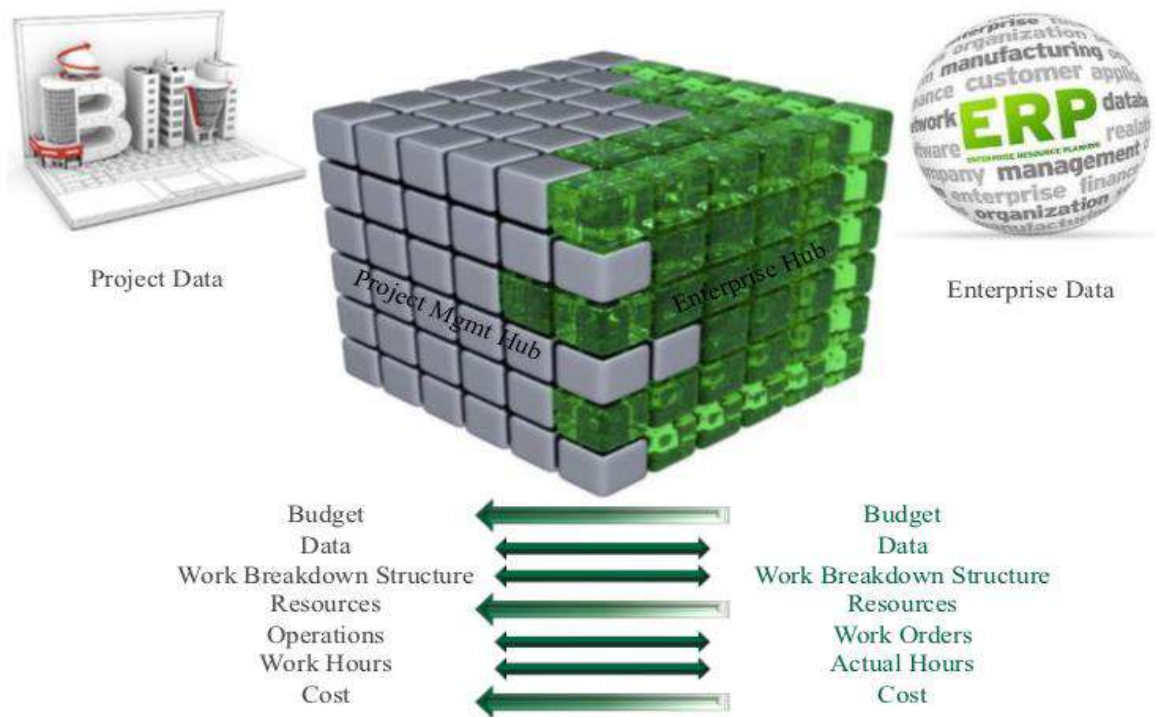


Рисунок 2.3 – Схема обміну даних в ERP та BIM

Автоматизоване отримання даних безпосередньо з об'єктно-орієнтованих ERP та BIM нещодавно було представлено Autodesk [45, 46]. Наприклад, переведення в цифрову форму найбільш виснажливої та схильної до помилок кількості матеріалу стає доступним для основного будівельного ринку.

2.3 Модель оцінки сталого управління будівельними проєктами у процесах ініціації та планування

Загальною методологічною основою для оцінки сталого управління будівельними проєктами є система процесів управління будівельними проєктами, визначена РМВОК Construction [10]. Для виконання кожного з процесів ініціації (2) та планування (24) рекомендовано застосовувати певний набір методів та інструментів. Концептуальну основу дослідження також складає стандарт GPM P5 [7], що визначає ширший економічний,

екологічний та соціальний контекст проєкту. Застосування GPM 5P, разом з PMBOK, дозволяє менеджерам планувати проєктні дії для досягнення сталого управління проєктом. Саме тому пропонується розгляд стійкого планування будівельного проєкту шляхом поєднання процесів, методів та інструментів PMBOK Construction з принципами сталого розвитку GPM P5 (Додаток Б).

Враховуючи загальний контекст будівельного проєкту пропонуються категорії цінностей сталого розвитку об'єкта будівництва:

– P 1: вплив продукту (об'єкту будівництва) передбачає збільшення терміну експлуатації об'єкту за рахунок використання безпечних матеріалів та інклюзивних (людиноорієнтованих) технічних рішень, а також зменшення витрат на сервісне та експлуатаційне обслуговування об'єкту;

– P 2: вплив процесів управління будівельними проєктами означає, що процеси проєктного управління є високоефективними, справедливими для усіх стейкхолдерів проєкту і орієнтовані на досягнення сталих результатів;

– P 3: соціальний вплив. По-перше, це створення гідних умов праці, зокрема: створення безпечних умов праці, організація навчання і розвиток компетентностей, забезпечення різноманітності та рівних можливостей для усіх членів проєктної команди. По-друге, здатність взаємодіяти із суспільством та клієнтами. Крім того, важливо демонструвати повагу до прав людини, дотримуватись правил чесної конкуренції;

– P 4: вплив на довкілля пов'язаний із мінімізацією фізичних перевозок (поїздок, доставок) та максимізацією використання цифрових комунікаційних технологій. Крім того, в будівництві необхідно ощадливо використовувати енергоресурси, переходити на відновлювальні джерела енергії та місцеві матеріали;

– P 5: економічний вплив. Реалізація сталого будівельного проєкту має бути фінансово успішною і рентабельною. Для цього аналізуються бізнес-кейси з варіантами оцінок поточних витрат, рентабельності, прибутку і т. ін. Бажано, щоб сталоорієнтовані будівельні проєкти отримувати фінансову

підтримку від інвесторів, державних органів і органів місцевого самоврядування.

У фокусі уваги постають процеси управління проектами передпроектної фази/фази ініціації та фази планування. Оскільки зміст проєкту закладається на початкових етапах. На фазі «виконання» внесення принципів змін в інженерні рішення будівельних проєктів приводить до значного перевищення бюджету і зниження показників ефективності. Адже відомо, що рання розробка обсягу робіт створює «відправну точку» для забудовника, а обсяг та зміст проєктних рішень розвивається разом зі створенням вимог до об'єкту будівництва.

Для перевірки гіпотези застосовуються також засоби та інструменти математичного моделювання; методи багатокритеріальної оцінки та оптимізації в умовах різного ступеня визначеності вихідної інформації. Застосування фокусу цінностей сталого розвитку GPM P5 в контексті методології управління будівельними проєктами (PMBOK Construction) дозволило розробити якісно нову модель оцінки сталості управління будівельними проєктами у процесах ініціації та планування.

Характер сталоорієнтованості управління забудовника можна визначити інтегральною оцінкою сталості процесів управління будівельним проєктом. У контексті проєктного підходу система управління будівельними проєктами, що здатна до сталості, має продемонструвати усі необхідні управлінські методи та інструменти для ініціації та планування будівельного проєкту. Оцінки сталості здійснюються за балансованими регресійними співвідношеннями (з нульовим вільним членом) і включають:

– часткову модель збалансованої оцінки по усім областям знань управління будівельним проєктом для кожного процесу, яка має вигляд:

$$\boxed{\times} \quad \boxed{\times} \quad (2.1)$$

де S_{ji} – оцінка сталості j -того процесу управління будівельним проєктом

де ε – гаусовий білий шум з нульовим математичним очікуванням.

Таким чином, для інтегральної оцінки VB сталості процесів управління будівельним проектом сформовано модель:

$$\boxed{\times} \quad (2.5)$$

З математичних співвідношень (2.3) і (2.4) випливає рівність:

$$\boxed{\times} \quad (2.6)$$

що дозволяє контролювати результати обчислення оптимальних значень вагових коефіцієнтів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ і $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$.

У задачах, коли відсутні статистичні характеристики змінних, що описують об'єкт, для параметричної ідентифікації використовують метод найменших квадратів (МНК). Необхідно врахувати наступні ускладнення: по-перше, комплекс моделей (2.1), (2.2), (2.5) є лінійним за областями знань і за процесами управління проектами, але нелінійним у цілому за параметрами, що оцінюються. Така ситуація потребує застосування ітераційних обчислювальних процедур. По-друге, для отримання обґрунтованих регресійних оцінок необхідно, щоб об'єм спостережень у декілька разів перевищував кількість вагових коефіцієнтів. Натомість розмір діагностичної матриці окремого об'єкту цій умові не відповідає. По-третє, рядки та стовпці матриці характеризуються високим рівнем мультиколінеарності. Тому простежується потенційна числова нестійкість обчислювальних процедур. Для подолання останніх складнощів пропонується використовувати апріорні оцінки та регуляризацію критерію оптимальності.

Враховуючи предметну область задачі оцінювання, приймаємо обмеження на вагові коефіцієнти:

$$\begin{matrix} \boxed{x} & \boxed{x} & \boxed{x} \\ \boxed{x} & \boxed{x} & \boxed{x} \end{matrix} \quad (4.7)$$

Враховуючи особливості діагностичної матриці та задачі ідентифікації в цілому, обчислення оптимальних оцінок вагових коефіцієнтів здійснюється із використанням зваженого МНК. При цьому враховуються обмеження та застосовується регуляризація (для забезпечення стійкості комп'ютерних обчислень і відображення наявності апріорних уявлень про значення коефіцієнтів). Критерієм оптимальності, який підлягає мінімізації, слугує функція:

$$\boxed{x}$$

(4.8)

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_c$ – невід'ємні ваги реальних спостережень $\boxed{x} \boxed{x} VB^{(e)}$ відповідних показників сталості процесів управління будівельним проектом; \boxed{x} і \boxed{x} – апріорні оцінки відповідних вагових коефіцієнтів; χ – додатний параметр регуляції, $\boxed{x} \boxed{x}$

Вибір значень $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_c, \boxed{x} \boxed{x} \chi$ дозволяє врахувати додаткову інформацію про якість контрольних замірів та експертну обробку даних, досвід у оцінці сталості будівельних проектів, а також складність

формалізації думки експертів. Коли оцінки α_1 і α_2 невідомі, тоді апріорі приймається $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ що відповідає обмеженню за нормою оптимальних значень вагових коефіцієнтів згідно критерію (2.8). Ступінь стабілізації оптимальних оцінок вагових коефіцієнтів визначається значенням параметра регуляції χ , апріорі приймається $\chi=0,001$. Вибір співвідношення між значеннями вагових елементів $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_c$ дозволяє регулювати відносну ступінь мінімізації відповідних відхилень. Враховуючи масштаб величин, які розглядаються, та об'ємних даних апріорі приймається: $\alpha_1=1, \alpha_2=1, \alpha_c=1$ ($m+n \sim 40$).

Специфіка набору моделей (2.1), (2.2), (2.5) і структура задачі умовної мінімізації (2.7), (2.8) дозволяє розщепити ітераційний процес параметричної ідентифікації на окремі складові. На першому етапі розв'язуються редуковані задачі значно меншого розміру, допускається паралельність обчислень. При цьому відповідні моделі лінійні за параметрами, а цільові функції квадратичні, тому мають єдиний безумовний глобальний мінімум. Також, на першому етапі забезпечується вибір початкового наближення в околі сумісного умовного екстремуму. За допустимі вхідні початкові оцінки вагових коефіцієнтів можна взяти нормальні (мінімальні за нормою) розв'язання обмежень-рівнянь із (2.7), що дає $\lambda_i=1/n, \mu_j=1/m$. Далі, виходячи з початкових значень вагових коефіцієнтів, знаходяться їх уточнені оцінки як розв'язки двох паралельних задач Q_1 і Q_2 квадратичного програмування:

$$\min_{\alpha} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2$$

(2.9)

з обмеженнями: $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_c$

$$\boxed{\times}$$

(2.10)

з обмеженнями: $\boxed{\times}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{\times}$ де цільові функції f_{Q1} та f_{Q2} – відокремлені за $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ і $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$ складові критерію (2.8), в якому покладено $\lambda_c=0$ та враховано відповідні балансові співвідношення (2.7).

На другому етапі відбувається узгодження результатів попередніх розрахунків та всеохоплююча корекція множини значень параметрів моделей у цілому. Спираючись на безпосередньо незалежні між собою попередні оцінки вагових коефіцієнтів як початкові, здійснюється їх узгодження та остаточна оптимізація як результат розв'язування загальної задачі на умовний екстремум (2.7), (2.8). Контроль обчислень оптимальних значень вагових коефіцієнтів здійснюється перевіркою рівності (2.6).

3 ЕЛЕМЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СТАЛООРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНОЮ КОМПАНІЄЮ

3.1 Алгоритм створення системи сталого моніторингу ресурсів будівельного підприємства

Система ERP розглядається як корпоративна модульна система, де кожен модуль підтримує відповідні бізнес-процеси, що виконуються в межах функціональності компанії. Стале планування ресурсів підприємства (ERP_{SDG}) — це система ERP, розширена для інтеграції бізнес-процесів і дій із сталого розвитку, що виконуються в компанії. Дорожня карта для впровадження систем сталого планування ресурсів підприємства (ERP_{SDG}) включає три етапи, а саме етапи попереднього впровадження, впровадження та етапи після впровадження (рисунок 3.1). Запропонована методологія складається з восьми етапів підходу і наступних додаткових етапів:

Етап 7: Розробка детального проекту впровадження ERP_{SDG} .

Етап 8: Організація проекту інтеграції ERP_{SDG} з іншими ІТ-рішеннями в компанії.

Крок 9: Встановлення ERP_{SDG} .

Крок 10: Навчання користувачів і адміністраторів.

Очікується, що ERP необхідно адаптувати до структури організації в будь-який момент часу і що компанії, які впроваджують систему ERP, повинні досягти, як мінімум, другого рівня технологійної зрілості. При використанні моделі зрілості на основі ISO/IEC 15504-5:2012. Information technology – Process assessment – Part 5: An exemplar software life cycle process assessment model можна вказати рівень зрілості (таблиця 3.1). Оцінка зрілості процесу здійснюється всередині компанії або за допомогою зовнішніх експертів. Досягнення більш високого рівня зрілості гарантує визначені, структуровані та стандартизовані процеси.

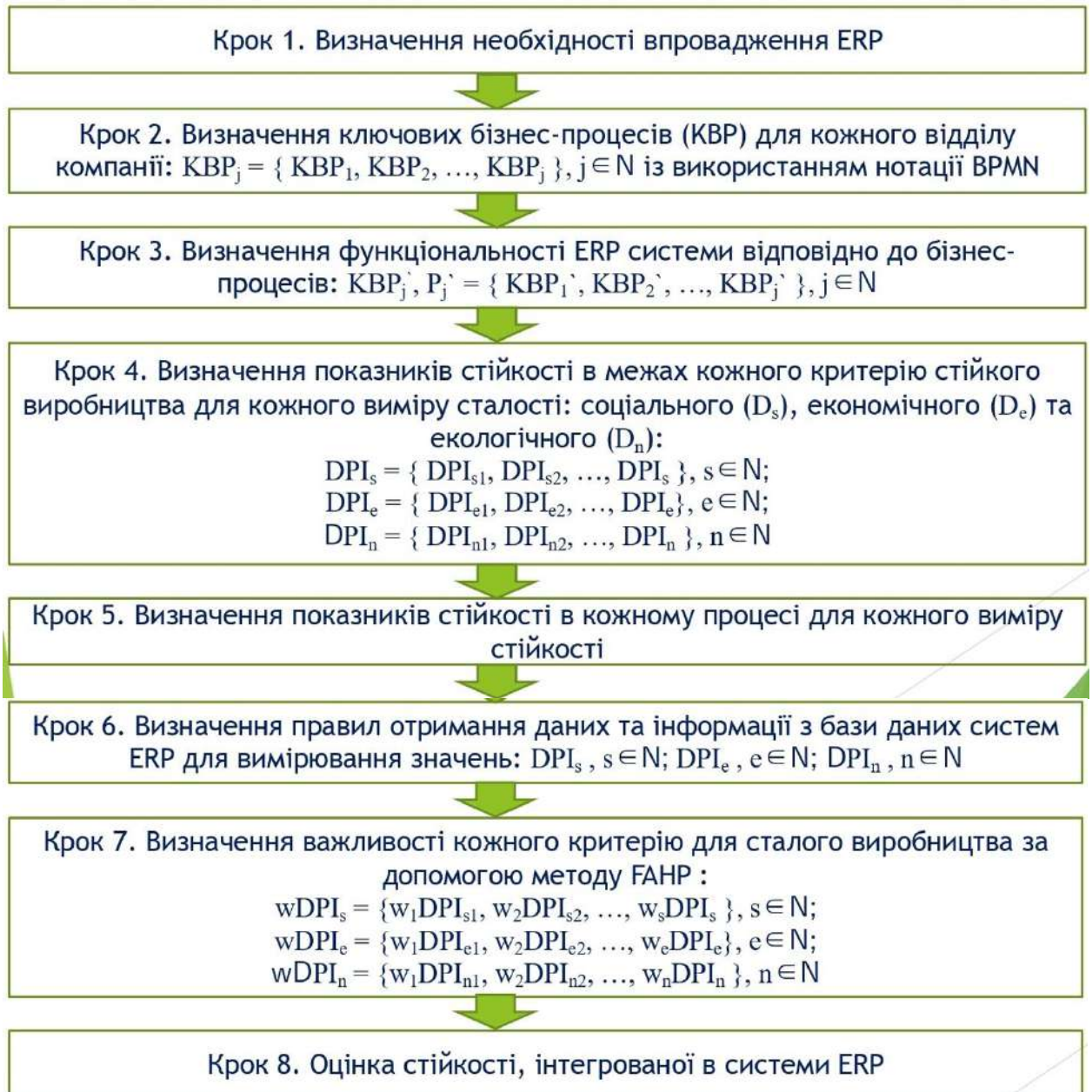


Рисунок 3.1 – Підхід до інтеграції оцінки стійкості в ERP

На етапі 2 запропоновано та визначено бізнес-процес, який здійснюється всередині компанії з використанням нотації моделі бізнес-процесу та нотації (BPMN) (рисунок 3.2).

Таблиця 3.1 – Рівні зрілості ERP

Рівні технологічної зрілості	Характеристика
1	2
0	Процес не існує/не актуальний
1	Процес існує, але не прозорий
2	Реалізовані методи єдиної оптимізації
3	Впроваджено передові методи оптимізації
4	Впроваджено передові методи управління оптимізацією

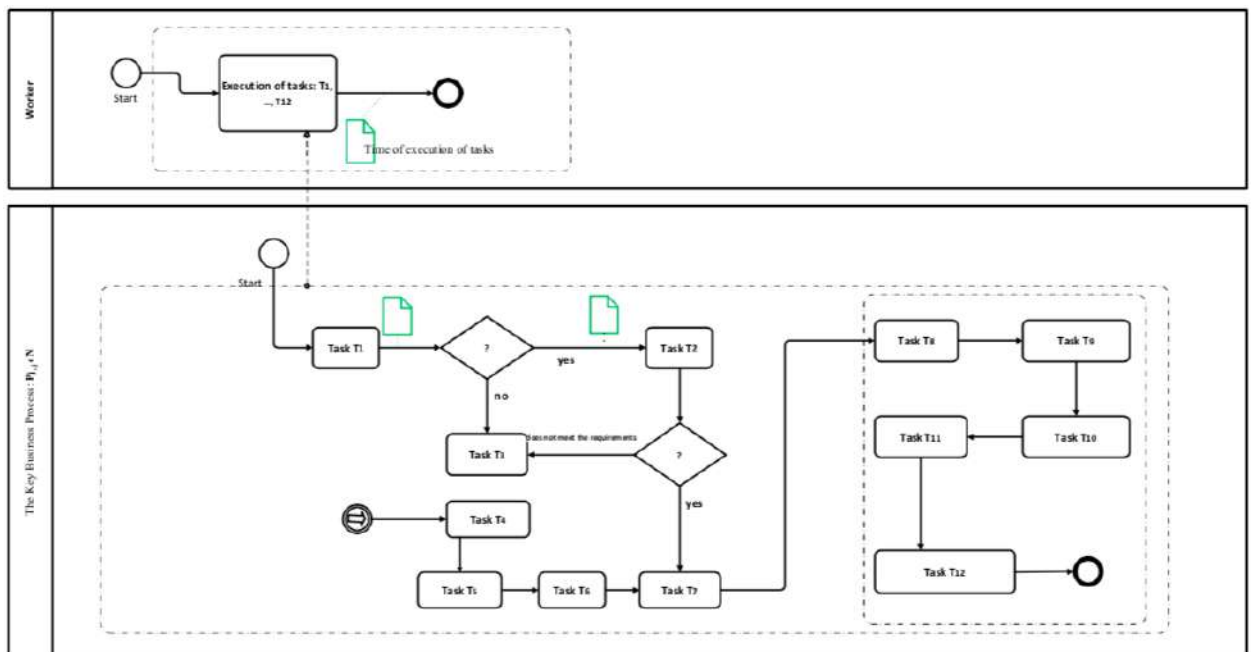


Рисунок 3.2 – Завдання, які виконуються в рамках ключових бізнес-процесів у виробничій компанії

Ключові процеси у виробничому підприємстві, які підтримуються системою ERP і виконання яких у компанії впливає на рівень стійкості:

функціональності ERP_{SDG} . Визначені критерії та показники можуть бути сформульовані відповідно до потреб компанії. Кількісні показники для кожного критерію були сформульовані так, щоб дані для розрахунку значень цих показників можна було отримати в системі ERP_{SDG} . У запропонованому підході ключові бізнес-процеси призначається кожному показнику стійкості (SI), який підтримується системою ERP.

Таблиця 3.2 – Критерії сталого виробництва

Критерії сталого виробництва	Індикатори сталості (SI)
1	2
Економічний: $DPe, e \in N$	
Зниження собівартості продукції	DPI_{e1} – витрати на виробництво $DPI_{e1} = C_m + C_{pe} + C_i + C_t; m, pe, i, t \in N$ C_m – добові витрати на використання матеріалів; C_{pe} – добові витрати за роботу працівників; C_i – щоденні витрати, пов'язані з використанням машин і механізмів; C_t – щоденні витрати, пов'язані з використанням інструменту та обладнання
Зниження витрат на логістику	DPI_{e2} – логістичні витрати $DPI_{e2} = C_{il} + C_{el}; il, el \in N$ C_{il} – щоденні витрати внутрішньої логістики; C_{el} – добові витрати зовнішньої логістики
Підвищення продуктивності всередині організації	DPI_{e3} – сумарна продуктивність $DPI_{e3} = \frac{RTP}{TR}$ RTP – коефіцієнт загального обсягу виробництва

Продовження таблиці 3.2

1	2
	(місячний) TR – загальна кількість ресурсів, що використовуються у виробництві (щомісяця)
Підвищення рентабельності всередині організації	DPIe4 – ROA – рентабельність активів DPIe5 – ROE рентабельність власного капіталу
Пунктуальні поставки	DPIe6 – щоденна кількість затриманих поставок
Прибуток	DPIe7 – значення прибутку (щомісяця)
Інвестиції	DPIe8 – ROI – повернення інвестицій
Збільшення продажів	DPI e9- ROS – рентабельність продажів
Збільшення інновацій	DPI e10 – кількість нових продуктів (щорічно)
Екологічний DPn, n ∈ N	
Мінімізація використання води	DPI n1 – споживання води (щомісяця)
Мінімізація використання енергії	DPI n2 – споживання енергії (щомісяця)
Зменшення забруднення повітря	DPI n3 – викиди парникових газів (щомісяця)
Зменшення частоти екологічних аварій	DPI n4 – кількість екологічних аварій (за місяць)
Мінімізація використання токсичні матеріали	DPI n5 – аналіз токсичності використаних матеріалів (щомісячно)
Соціальні DP _s , s ∈ N	
Покращення прав працівників і	DPIs1 – обсяг навчання по відношенню до усвідомлення стійкості

Продовження таблиці 3.2

1	2
мінімізація дискримінація	
Підвищення економічної ефективності відносин з постачальниками	DPIs2 – середньоденна оплата (в місяць)
Підвищення як професійних знань і компетентності співробітників, так і їх залучення	DPIs3 – кількість спеціального навчання (щомісяця)
Захист особистого здоров'я	DPIs4 – кількість програм, пов'язаних з охороною здоров'я працівників
Забезпечення соціальної справедливості	DPIs5 – кількість програм, пов'язаних з медичним страхуванням для працівників
Підвищення рівня задоволеності працівників	DPIs6 – кількість скарг від клієнтів

Приклад отримання значень показників стійкості DPIn2 і DPIn3 в ERP_{SDG} на середньому виробничому підприємстві наведено в додатку В.

Далі визначені додаткові функціональні можливості ERP_{SDG} (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Функціональність ERP_{SDG}-системи

Індикатори сталості (SI)	Ключові бізнес-процеси підтримується системою ERP	Правила для ERP _{SDG} -системи
1	2	3
Економічні: DP _e , e ∈ N		
DPI _{e1}	КВР1, КВР2	Перемістіть значення DP _e = {DPI _{e1} , ..., DPI _{e10} } з бази даних ERP до таблиці сталого розвитку, до економічного виміру
DPI _{e2}	КВР6	
DPI _{e3}	КВР2, КВР10	
DPI _{e4}	КВР10	
DPI _{e6}	КВР3	
DPI _{e7}	КВР10	
DPI _{e8}	КВР10	
DPI _{e9}	КВР4, КВР10	
DPI _{e10}	КВР4, КВР7	
Екологічні DP _n , n ∈ N		
DPI _{n1}	КВР1, ..., КВР10	<i>Додатково:</i> Поділіться маршрутизацією продукту. Визначити витрати води на кожну технологічну операцію. Розрахувати витрати води на напівфабрикати. Розрахувати витрати води на напівфабрикати. Перемістіть значення DPI _{n1} до таблиці стійкості до DP _n
DPI _{n2}	КВР1, ..., КВР10	<i>Додатково:</i> Поділіться маршрутизацією продукту. Визначити споживання електроенергії на

Продовження таблиці 3.3

1	2	3
		<p>кожну технологічну операцію.</p> <p>Розрахувати споживану потужність напівфабрикатів.</p> <p>Розрахувати споживану потужність напівфабрикатів.</p> <p>Перемістіть значення DPIn2 до таблиці стійкості до DPn</p>
DPIn3	КВР1,...,КВР10	<p><i>Додатково:</i></p> <p>Поділіться описом матеріалів для кожного продукту.</p> <p>Визначте рівень викидів двоокису для кожного матеріалу.</p> <p>Розрахувати викид вуглекислого газу для напівфабрикатів Розрахувати викид вуглекислого газу для готової продукції.</p> <p>Перемістіть значення DPIn3 до таблиці стійкості до DPn</p>
DPIn4	КВР1,...,КВР10	<p><i>Додатково:</i></p> <p>Звіт про кожну екологічну аварію в рамках кожного процесу (щомісяця)</p> <p>Перемістіть значення DPIn4 до таблиці стійкості до DPn</p>
DPIn5	КВР1, КВР7	<p><i>Додатково:</i></p> <p>Поділіться описом матеріалів для кожного продукту.</p> <p>Визначте рівень токсичності для кожного матеріалу.</p>

Продовження таблиці 3.3

1	2	3
		Розрахувати рівень токсичності напівфабрикатів Розрахувати рівень токсичності готового продукту. Перемістіть значення DPI_{n5} до таблиці стійкості до DP_n
Соціальні DPI_s , $s \in N$		
DPI_{s1}	КВР8	Перемістіть значення $DPI = \{DPI_{s1}, \dots, DPI_{s6}\}$ від бази даних ERP до таблиці стійкості, до соціального виміру
DPI_{s2}	КВР5	
DPI_{s3}	КВР8	
DPI_{s4}	КВР8	
DPI_{s5}	КВР8	
DPI_{s6}	КВР9	

На наступному етапі застосовується метод нечіткої аналітичної ієрархії (Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP) використовується для визначення важливості кожного критерію для досягнення таблиці оцінки стійкості, інтегрованої з системою ERP (таблиця 3.4). Використовуючи FAHP, можна визначити відносне переважання конкретного індикатора сталості з незмірних критеріїв рамки Sustainability Manufacturing; крім того, можна оцінити ці критерії. Менеджери визначають важливість кожного критерію для розвитку сталого розвитку проектів виробничої компанії згідно з наступними правилами: кожен індикатор є однаково важливою або помірковано більш важливою, або більш важливою, або найбільш важливим порівняно з іншим індикатором сталості.

Таблиця 3.4 – Таблиця оцінки стійкості, інтегрована з системою ERP

Значення індикатора сталості	Зважене значення критеріїв сталого виробництва	Оцінка індикатора сталості
1	2	3
Economic: DP _e , e ∈ N		
vDPI _{e1}	vDPI _{e1}	<ul style="list-style-type: none"> • наполегливо рекомендовано покращити рівень; • рекомендовано для вдосконалення; • рівень, рекомендований для підтримки
vDPI _{e2}	wDPI _{e2}	
vDPI _{e3}	wDPI _{e3}	
vDPI _{e4}	wDPI _{e4}	
vDPI _{e6}	wDPI _{e6}	
vDPI _{e7}	wDPI _{e7}	
vDPI _{e8}	wDPI _{e8}	
vDPI _{e9}	wDPI _{e9}	
vDPI _{e10}	wDPI _{e10}	
Екологічний DP _n , n ∈ N		
vDPI _{n1}	wDPI _{n1}	<ul style="list-style-type: none"> • наполегливо рекомендовано покращити рівень; • рекомендовано для вдосконалення; • рівень, рекомендований для підтримки
vDPI _{n2}	wDPI _{n2}	
vDPI _{n3}	wDPI _{n3}	
vDPI _{n4}	wDPI _{n4}	
vDPI _{n5}	wDPI _{n5}	
Соціальні DP _s , s ∈ N		
vDPI _{s1}	wDPI _{s1}	<ul style="list-style-type: none"> • наполегливо рекомендовано покращити рівень; • рекомендовано для вдосконалення; • рівень, рекомендований для підтримки
vDPI _{s2}	wDPI _{s2}	
vDPI _{s3}	wDPI _{s3}	
vDPI _{s4}	wDPI _{s4}	
vDPI _{s5}	wDPI _{s5}	

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
vDPI s6	wDPI s6	

Представлено концепція методології впровадження системи ERP у малих і середніх виробничих компаніях. Кожен розроблений етап може бути відповідним чином допрацьований залежно від специфіки підприємства, на якому він реалізується. На першому етапі буде визначено види діяльності в будівництві, які охоплює виробниче підприємство, для яких буде призначена методологія. Далі для будуть детально змодельовані бізнес-процеси, підтримувані ERP-системою з використанням методології BPMN. Подальша робота буде здійснюватися на основі емпіричних досліджень польських будівельних компаній, які реалізують зелені проєкти. Для цих підприємств будуть визначені еталонні значення показників стійкості.

3.2 Вибір показників досягнення Цілей сталого розвитку для будівельної компанії

Для оцінки стійкості розвитку виробничої (будівельної) компанії було визначення цілі у трьох сферах: «виробничий процес», «довговічність виробництва», «продукт розробки».

- 1 Виробничі процеси: знижене споживання енергії; знижене забруднення навколишнього середовища; покращена якість процесу; знижена матеріаломісткість у процесі виготовлення; економічне виробництво; збільшення інновацій; переробка, зменшення кількості відходів, що утворюються.

- 2 Довговічність виробництва: висока якість продукції; попередження простоїв; матеріали замкнутого циклу; підвищена надійність виробу, термін служби виробу; ремонтпридатність/обслуговування.
- 3 Продукт розробки: задоволеність клієнтів і працівників; безпека на робочому місці, гідні умови праці; гідні умови праці, безпека на робочому місці; турбота про організацію, імідж бренду; виробництво безпечних харчових продуктів; збільшення вигод для суспільства без шкоди для майбутніх поколінь.

Структура показників для досягнення ЦСР на виробничому підприємстві наведена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Показники для досягнення ЦСР в будівельній компанії

Цілі сталого розвитку	Індикатори сталого розвитку на виробничому підприємстві
1	2
Виробничі процеси	
Знижене енергоспоживання	Споживання енергії
Зменшення забруднення навколишнього середовища	Загальні викиди в повітря під час виробництва (виконання будівельно-монтажних робіт)
	Загальні викиди в повітря постачальників, субпідрядників
	Загальні викиди під час експлуатації об'єкту
Покращена якість процесу	Загальна ефективність обладнання, виробничої технології
Знижена матеріаломісткість у технологічних процесах виконання	Продуктивність ресурсів, ощадне використання

Продовження таблиці 3.5

1	2
БМР	
Економічне виробництво	Дохід організації (експлуатаційні витрати, вартість матеріалів, накладні витрати, вартість запасів та інші витрати)
Збільшення інновацій	Технологічний прогрес
Переробка, зменшення кількості утворених відходів	Рівень переробки відходів, застосування технологій повторного використання будівельних матеріалів
Довговічність виробництва (виробничих потужностей компанії)	
Висока якість продукції	
Запобігання простою	Кількість дефектних продуктів
Матеріали замкнутого циклу	час простою
Підвищена надійність продукту	Повторне використання відходів
Ремонтопридатність/обслуговування	Частота відмов продукту (усунення дефектів під час експлуатації об'єкту, у тому числі протягом гарантійного періоду)
Ремонтопридатність/обслуговування	Швидкість ремонту продукту
Продукт розробки	
Задоволеність клієнтів і співробітників	Задоволеність клієнтів Утримання клієнтів Задоволеність і безпека співробітників: – розвиток кар'єри та навчання – винагорода за працевлаштування – швидкість плинності

Продовження таблиці 3.5

1	2
	– здоров'я та техніки безпеки
Гідні умови праці, безпека на робочому місці	Діапазон переваг для працівників Інциденти безпеки (інциденти з охорони праці)
Економічне виробництво з соціальної та творчої точки зору	Вартість продукту порівняно з аналогічними продуктами. Ціна постачальника/ринкова ціна
Турбота про організацію, імідж бренду	Виконання робіт, введення об'єкту в експлуатації в планові терміни. Кількість скарг і розірвання угод.
Безпечне виробництво	Години навчання з техніки безпеки на одного працівника Виконання будівельно-монтажних робіт (у т.ч. висотних робіт)
Збільшення благ для суспільства без шкоди для майбутніх поколінь	Управління ризиками, пов'язаних зі зміною кліматом і обмеженням доступу до невідновлювальних джерел енергії

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Застосування методики кількісної оцінки сталості управління будівельним проектом

Розрахунок оцінки сталості процесів управління будівельним проектом починається з визначення вагових коефіцієнтів процесів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (таблиця 4.1) та субкатегорій сталого розвитку об'єкту будівництва $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$ (таблиця 4.2) експертним шляхом. При цьому вирішальна роль надається експерту в сфері зеленого будівництва (green manager). Він/вона здійснює скореговане узагальнення їх відповідних числових оцінок, одержаних методами параметричної ідентифікації балансових моделей сталості за критерієм мінімуму суми квадратів відхилень модельних значень сталості процесів управління від реальних.

Таблиця 4.1 – Приклад вагових коефіцієнтів процесів управління у забезпеченні стійкості об'єкту будівництва

Області знань управління будівельними проектами	Процеси управління будівельними проектами на фазі «Ініціація» та «Планування» (PMBOK, PMBOK Construction)	Ваговий коефіцієнт, λ	
1	2	3	
1 Управління інтеграцією проекту	1. 1 Розробка Статуту проекту	1	0,05
	1. 2 Розробка плану управління проектом	2	0,05
2 Управління змістом проекту	2. 1 Планування управління змістом проекту	3	0,045
	2. 2 Збір вимог	4	0,035

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	3
	2. 3 Визначення змісту проєкту	5	0,035
	2. 4 Створення ієрархічної структури робіт	6	0,03
3 Управління термінами проєкту	3. 1 Планування термінів проєкту	7	0,035
	3. 2 Визначення операцій/проєктних дій	8	0,03
	3. 3 Послідовність операцій/проєктних дій	9	0,03
	3. 4 Оцінка тривалості операцій/проєктних дій	10	0,03
	3. 5 Розробка розкладу проєкту	11	0,03
4 Управління вартістю проєкту	4. 1 Планування управління вартістю проєкту	12	0,035
	4. 2 Оцінка вартості проєкту	13	0,03
	4. 3 Визначення бюджету проєкту	14	0,03
5 Управління якістю проєкту	5. 1 Планування управління якістю проєкту	15	0,04
6 Управління ресурсами проєкту	6. 1 Планування управління ресурсами проєкту	16	0,04
	6. 2 Оцінка ресурсів операцій/проєктних дій	17	0,03
7 Управління комунікаціями проєкту	7. 1 Планування управління комунікаціями проєкту	18	0,035
8 Управління ризиками проєкту	8. 1 Планування управління ризиками проєкту	19	0,040
	8. 2 Ідентифікація ризиків проєкту	20	0,035
	8. 3 Якісний аналіз ризиків проєкту	21	0,030

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	
	8. 4 Кількісний аналіз ризиків проєкту	22	0,030
	8. 5 Планування реагування на ризики проєкту	23	0,035
9 Управління поставками проєкту	9. 1 Планування управління закупівлями проєкту	24	0,04
10 Управління стейкхолдерами проєкту	10. 1 Ідентифікація стейкхолдерів проєкту	25	0,035
	10. 2 Планування взаємодії із стейкхолдерами проєкту	26	0,035
11 Управління управління охороною праці, безпекою і навколишнім середовищем проєкту	11. 1 Планування управління охороною праці, безпекою і навколишнім середовищем будівельного проєкту	27	0,05
12 Управління фінансами проєкту	12. 1 Планування управління фінансами будівельного проєкту	28	0,03
Разом			1,0

Кількісні оцінки сталості процесів управління будівельним проєктом оцінюємо із застосуванням неперервної шкали $[-1; 1]$ з опорними маркерами:

– «1» – процес управління будівельним проєктом в повній мірі забезпечує досягненню цінності (категорії) сталого розвитку;

– «0» – процес управління будівельним проєктом не передбачає досягнення цінності (категорії) сталого розвитку;

– «-1» – процес управління будівельним проєктом негативно впливає на цінність (категорію) сталого розвитку.

Таблиця 4.2 – Приклад вагових коефіцієнтів для категорій сталого розвитку Р5

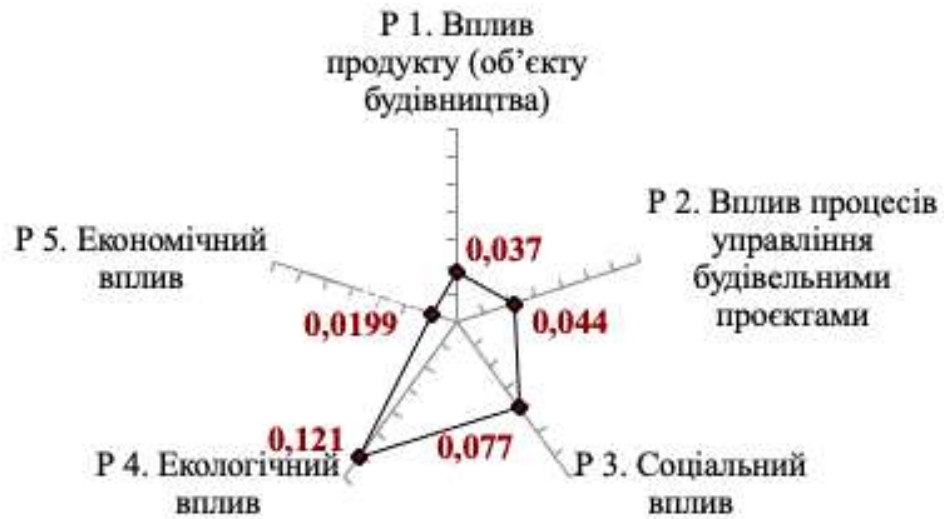
Категорії сталого розвитку Р5	Субкатегорії сталого розвитку об'єкту будівництва	Ваговий коефіцієнт, μ
1	2	3
Р 1. Вплив продукту (об'єкту будівництва)	Р 1. 1. Термін експлуатації об'єкту будівництва	0,06
	Р 1. 2. Сервісне/експлуатаційне обслуговування об'єкту будівництва	0,07
Р 2. Вплив процесів управління будівельними проектами	Р 2. 1. Результативність проектних процесів	0,05
	Р 2. 2. Ефективність проектних процесів	0,07
	Р 2. 3. Справедливість проектних процесів	0,06
Р 3. Соціальний вплив	Р 3. 1. Гідні умови праці	0,07
	Р 3. 2. Суспільство та клієнти	0,07
	Р 3. 3. Права людини	0,06
	Р 3. 4. Етична поведінка	0,06
Р 4. Екологічний вплив	Р 4. 1. Транспорт	0,05
	Р 4. 2. Енергія	0,08
	Р 4. 3. Земля, вода та повітря	0,06
	Р 4. 4. Споживання	0,06
Р 5. Економічний вплив	Р 5. 1. Аналіз бізнес-кейсів	0,07
	Р 5. 2. Бізнес-гнучкість	0,06
	Р 5. 3. Економічне стимулювання	0,05
Разом		1,00

Далі, використовуючи (3.1)–(3.10) обчислюємо значення:

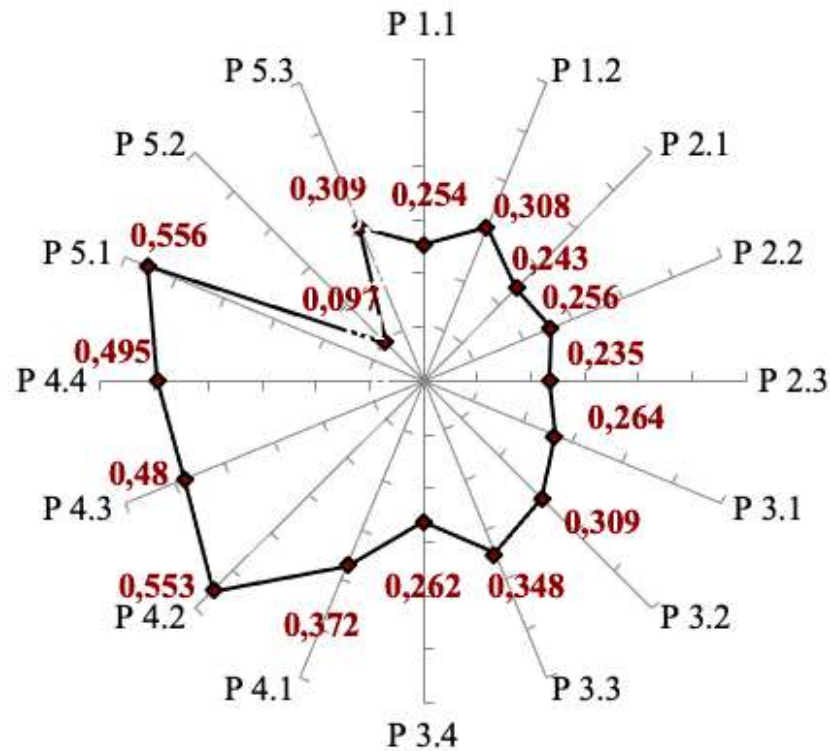
- збалансованої оцінки по усім областям знань управління будівельним проєктом для кожного процесу (VB_j);
- збалансованої по усім процесам управління будівельними проєктом на фазі «Ініціація» і «Планування» для кожної категорії сталого розвитку 5P (VB_{di});
- інтегральної оцінки сталості процесів управління будівельним проєктом (VB).

Ці оцінки можуть допомогти у детальному аналізі елементів сталості процесів управління будівельного проєкту, що досліджується. Візуалізація збалансованих оцінок по усім процесам управління для кожної субкатегорії сталого розвитку об'єкту будівництва у вигляді профілограми (рисунок 4.1) допомагає побачити слабкі місця у досягненні цінностей 5P. Зокрема, приклад будівельного проєкту, що розглядався, максимально орієнтований на впровадження екологічних рішень. Натомість бізнес рішення є недостатньо ефективними і потребують удосконалення.

Діаграма збалансованої оцінки системнебіліті за усіма категоріями 5P (рисунок 4.2) візуалізує ступінь ефективності застосування інструментів і методів управління проєктами для забезпечення стійкості об'єкту будівництва. Так, в проєкті, що досліджувався, знижують стійкість об'єкту будівництва процеси за номерами: 2, 3, 4, 5, 10, 12, 14, 15, 17, 19, 21 та 28. Оцінюючи ступінь негативного впливу потребують перегляду і удосконалення стійкості процеси: збір вимог (процес 4); визначення змісту проєкту (процес 5); оцінка тривалості операцій (процес 10); визначення бюджету проєкту (процес 14); планування управління якістю проєкту (процес 15); якісний аналіз ризиків проєкту (процес 21). Крім того, потребують удосконалення інструменти і методи кількісного аналізу ризиків проєкту (процес 22), оскільки під час оцінювання не встановлено його орієнтованість на досягнення цінностей (категорій) сталого розвитку.



a



б

Рисунок 4.1 – Приклади профілограми збалансованих оцінок по усім процесам управління для забезпечення сталості об'єкту будівництва:

a – профілограми збалансованих оцінок сталості по усім процесам управління для кожної категорії 5P;

б – профілограма збалансованих оцінок сталості по усім процесам управління для кожної субкатегорії 5P

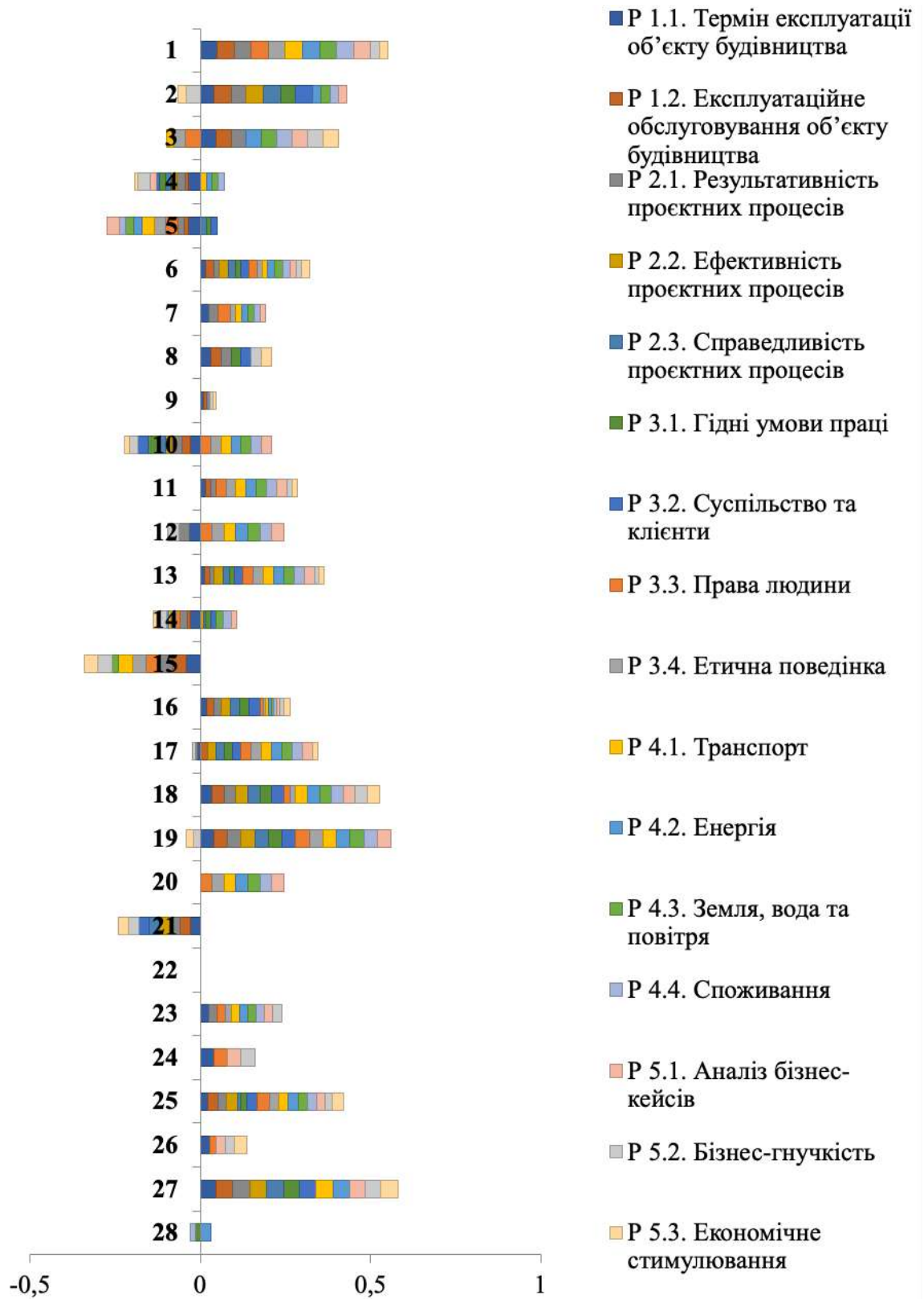


Рисунок 4.2 – Приклад діаграми збалансованої оцінки сталості за усіма категоріями (субкатегоріями) 5Р для кожного процесу управління будівельним проектом

У цілому, інтегральна оцінка сталості управління будівельним проєктом (що розглядався як приклад) склала $VB=0,337$. При заданих параметрах вагових коефіцієнтів (таблиці 4.1, 4.2) максимальне граничне значення інтегральна оцінка сталості $VB^{(\max)}=1,02$, а мінімальне $VB^{(\min)}=-1,02$.

Коректне використання запропонованого підходу передбачає наявність у експерта розвинутих компетентностей з ЦСР та специфіки їх реалізації в будівельних проєктах. Експерт здійснює власне дослідження передпроєктних рішень, формує «особисте бачення (особисту точку зору)» щодо ефективності цих рішень у забезпеченні стійкості об'єкту будівництва як «вхідні дані» у вигляді таблиць прийнятої форми. Під час заповнення табличних форм експертом можливі (навмисні чи випадкові) пропуски та(або) помилки у клітинках, а також порушення правил етики (перевага суб'єктивності над об'єктивністю). Така ситуація призведе до того, що на «виході» отримаємо індивідуальні числові значення критеріальних оцінок і вагових коефіцієнтів за межами їхніх узгоджених діапазонів.

Запропонована методика кількісного оцінювання сталості управління проєктом дозволяє вчасно виявляти неузгодження та усувати їх. Також під час контролю вхідних даних обчислювальних процедур можуть бути виявлені технічні похибки, що вимагають усунення.

Розроблені інструменти оцінювання сталості процесів управління будівельними проєктами є важливим інструментом для удосконалення та розвитку системи управління будівельними проєктами в перспективі ЦСР. Застосування розробленого аналітичного інструментарію буде корисним у проєктній діяльності компаній-забудовників, девелоперів, інвесторів, а також підрозділів капітального будівництва органів місцевого самоврядування, які виконують будівельні проєкти та програми.

4.2 Програмна реалізація оцінки сталості компанії-Забудовника

Структура програмного забезпечення «Sustainability Assessment» була побудована з використанням Microsoft Access як серверної частини та Microsoft Visual Studio як зовнішньої частини. Архітектура «Sustainability Assessment» (рисунок 4.3) презентує чинники сталого розвитку, критерії та атрибути, ваги та рейтинги, а також деталі організації як вхідні дані. Усі вхідні дані зберігаються в сховищі даних, яке слугує базою даних. Ці вхідні дані використовуються для створення вихідних даних.



Рисунок 4.3 – Архітектура програмної системи «Sustainability Assessment»

Дані для рейтингів і ваг вводяться у формі лінгвістичних змінних для відповідних засобів, критеріїв і атрибутів. Лінгвістичні змінні відповідають набору з трьох нечітких чисел, які піддаються відповідним обчисленням і генеруються результати. Метод евклідової відстані порівнює отримані результати зі стандартними оцінками стійкості. Найменша відстань, отримана серед них від певного рейтингу, є необхідною евклідовою відстанню, а рейтинг, від якого вона найменше віддалена, представляє поточний рівень стійкості. Розрахунок нечіткого індексу важливості продуктивності (Fuzzy

performance importance index, FPII) для всіх атрибутів стійкості дозволяє ідентифікувати слабші області.

На домашній сторінці показано реєстраційні дані організації (рисунок 4.4). Він містить назву організації, рік заснування, оборот під час заснування, поточний оборот, реалізовані стратегії світового класу, кількість працюючих працівників і вироблену продукцію як деталі. Існує також положення про зміну або видалення інформації, коли це необхідно. У правій частині сторінки знаходиться логін з логіном і паролем. Для нової організації, яка не була зареєстрована, вона може зареєструвати свою інформацію, натиснувши вкладку реєстрації. Після цього організація може просто вибрати назву організації, ввести ім'я користувача та пароль і продовжити оцінку.

The screenshot shows a web application window titled "Sustainability Assessment" with a subtitle "DSS for fuzzy Logic Based Sustainability Assessment". The interface is divided into several sections:

- Select organization:** A dropdown menu showing "XYZ Ltd."
- Organization Details:** A form with the following fields:
 - Name of organization: XYZ Ltd.
 - Year of inception: 1983
 - Turn over during inception: 156000345 INR
 - Current turnover: 324399000 INR
 - World class strategies implemented: 3R based Green Manufacturing, Air Quality Control
 - Number of employees working: 456
 - Products manufactured: Automobile and Machinery Parts
- Login:** A section with:
 - User name: XYZ Ltd.
 - Password: [masked]
 - Buttons: Login, Register

Рисунок 4.4 – Вікно для реєстрації даних організації з логіном і паролем

На сторінці реєстрації можна ввести всі дані щодо організації (рисунок 4.5). Система «Sustainability Assessment» дозволяє користувачеві додавати активатори, критерії та атрибути для організації, визначаючи їх за іменами.

Sustainability Assessment

Organization Registration

Organization Details

Name of organization: XYZ Ltd

Year of inception: 1983

Turn over during inception: 156000345

Current turnover: 324399000

World class strategies implemented: 3R based Green Manufacturing, Air Quality Control

Number of employees working: 456

Products manufactured: Automobile and Machinery Parts

Login

User name: XYZ Ltd

Password: [masked]

Save

Рисунок 4.5 – Вікно реєстрації нової організації

Також очікується, що користувач надасть оцінки та ваги для цих засобів, критеріїв і атрибутів (рисунок 4.6).

Sustainability Assessment

Sustainability Enablers, Criteria and Attributes

Sustainability Enablers and Criteria

Enablers		Criteria	
SVx	SV2	SVx	SV25
Name	Environmental Sustainability	Name	Air Resources and End of Life
Weight	Fairly High (FH)	Weight	Medium (M)

Sustainability Attributes

Attributes Name	Weight	Rating
SVxxx Clean Development Mechanism Practice	High (H)	Good (G)
SVxxx Carbon foot-print	Fairly Low (FL)	Worst (W)
SVxxx ER Concepts	Very High (VH)	Very Poor (VP)
SVxxx Green Manufacturing	High (H)	Fair (F)
SVxxx Air Quality Effects	Fairly High (FH)	Poor (P)
SVxxx Stratospheric Ozone Depletion	Medium (M)	Very Good (VG)
SVxxx Global Warming	Very Low (VL)	Excellent (E)
SVxxx		
SVxxx		
SVxxx		

Add Values Show Values Clear Values Clear All Values

Calculate

Рисунок 4.6 – Вікно з визначенням засобів активації, критеріїв, атрибутів

Після цього виконуються обчислення оцінки стійкості на основі нечіткої логіки (Fuzzy-logic-based sustainability evaluation, FLSI) – рисунок 4.7.

SVno	FPI Values	Attributes Name
SVno1	1.350	Clean Development Mechanism Practice
SVno2	0.417	Carbon foot-print
SVno3	0.142	SR Concepts
SVno4	1.057	Green Manufacturing
SVno5	1.300	Air Quality Effects
SVno6	4.067	Stratospheric Ozone Depletion
SVno7	8.888	Global Warming
SVno8	0.000	
SVno9	0.000	
SVno10	0.000	

Рисунок 4.7 – Вікно генерації значень FSI та FPII

Обчислення евклідової відстані також виконується шляхом співставлення FSI зі стандартними лінгвістичними виразами, і результат відображається на тій же сторінці щодо статусу організації. Крім того, на екрані користувач може ввести назву активатора, критерія та отримати значення FPII атрибутів для цього конкретного набору активатора та критерія. Перелік слабших ділянок разом із їх індексним номером і FPII, визначеним після фіксації порогу керування, наведено на рисунку 4.8 .



The screenshot shows a window titled "Sustainability Assessment" with a subtitle "List of Weaker Sections". It contains a table with three columns: "Index", "FPII Value", and "Attributes Name". The table lists four entries: SV252 (Carbon foot-print), SV253 (6R Concepts), SV254 (Green Manufacturing), and SV255 (Air Quality Effects).

Index	FPII Value	Attributes Name
SV252	0.417	Carbon foot-print
SV253	0.142	6R Concepts
SV254	1.067	Green Manufacturing
SV255	1.300	Air Quality Effects

Рисунок 4.8 – Вікно з переліком найслабших сфер сталості

Сталий розвиток забезпечує стійкі, довгострокові та конкурентні переваги для виробничих організацій. У цьому контексті дуже потрібна оцінка стійкості. Для систематичного обчислення та аналізу стійкості організації рекомендовано застосування система «Sustainability Assessment», що обчислює індекс стійкості організації та генерує FPII для різних атрибутів стійкості.

ВИСНОВКИ

Інформаційні технології дозволяють вирішувати більшість проблем у галузі архітектури, проектування та будівництва. Інтеграція ERP та BIM має потенціал для покращення показників сталого розвитку будівельної галузі за рахунок розробки єдиної робочої платформи.

Коректне використання запропонованого підходу передбачає наявність у експерта розвинутих компетентностей з ЦСР та специфіки їх реалізації в будівельних проєктах. Експерт здійснює власне дослідження передпроектних рішень, формує «особисте бачення (особисту точку зору)» щодо ефективності цих рішень у забезпеченні стійкості об'єкту будівництва як «вхідні дані» у вигляді таблиць прийнятої форми. Під час заповнення табличних форм експертом можливі (навмисні чи випадкові) пропуски та(або) помилки у клітинках, а також порушення правил етики (перевага суб'єктивності над об'єктивністю). Така ситуація призведе до того, що на «виході» отримаємо індивідуальні числові значення критеріальних оцінок і вагових коефіцієнтів за межами їхніх узгоджених діапазонів. Запропонована методика кількісного оцінювання сталості управління проєктом дозволяє вчасно виявляти неузгодження та усувати їх. Також під час контролю вхідних даних обчислювальних процедур можуть бути виявлені технічні похибки, що вимагають усунення.

Для систематичного обчислення та аналізу стійкості організації рекомендовано застосування система «Sustainability Assessment», що обчислює індекс стійкості організації та генерує FPII для різних атрибутів стійкості.

Розроблені інструменти оцінювання сталості процесів управління будівельними проєктами є важливим інструментом для удосконалення та розвитку системи управління будівельними проєктами в перспективі ЦСР. Застосування розробленого аналітичного інструментарію буде корисним у

проектній діяльності компаній-забудовників, девелоперів, інвесторів, а також підрозділів капітального будівництва органів місцевого самоврядування, які виконують будівельні проекти та програми.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Claro P.B.d.O., Esteves N.R. Sustainability-oriented strategy and Sustainable Development Goals. *Marketing Intelligence and Planning*. 2021. Vol. 39. № 4. P. 613-630. doi: 10.1108/MIP-08-2020-0365.
2. Rajabi S., El-Sayegh S., Romdhane L. Identification and assessment of sustainability performance indicators for construction projects. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2022. Vol. 15. P. 100193. doi: 10.1016/j.indic.2022.100193.
3. BREEAM International New Construction. Version 6.0. Watford: BRE Global Ltd, 2021. URL: <https://files.bregroup.com/breem/technicalmanuals/sd/international-new-construction-version-6/>.
4. LEED v4.1 building design and construction: Getting started guide for beta participants. Washington: U.S. Green Building Council, 2022. 300 p.
5. Living building challenge 4.0: a visionary path to a regenerative future. Seattle: Living Future Institute, 2019. 84 p.
6. Gontar B., Gontar Z., Sikora-Fernandez D. Strategiczne zarządzanie projektami transformacji inteligentnych miast. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2018. 162 p. (in Poland).
7. The GPM P5™ Standard for Sustainability in Project Management. GPM Global. Version 2.0, 2019. 70 p.
8. Фесенко Т. Г., Мінаєв Д. М. Клієнтоцентризм в управлінні комунікаціями проєктів (на прикладі житлового будівництва). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 5. № 3(71). P. 4–10. doi: 10.15587/1729-4061.2014.28032.
9. Kerzner H. *Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling*/13th ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2022. 880 p.
10. A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK®

Guide): Sixth Edition. USA : Project Management Institute, 2017. 589 p.

11. Kivilä J., Martinsuo M., Vuorinen L. Sustainable project management through project control in infrastructure projects. *International Journal of Project Management*. 2017. Vol. 35. Iss. 6. P. 1167-1183. doi: 10.1016/j.ijproman.2017.02.009.

12. Fesenko T., Shahov A., Fesenko G., Bibik N., Tupchenko V. Modeling of customer-oriented construction project management using the gender logic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. № 3(91). P. 50–59. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123124.

13. Fesenko T., Fesenko G. Developing gender maturity models to project and programme management system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1 № 3(85). P. 46–55. doi: 10.15587/1729-4061.2017.28031.

14. Fesenko T., Shakhov A., Fesenko G. Modeling of maturity of gender-oriented project management office. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. № 3(89). P. 30–38. doi: 10.15587/1729-4061.2017.110286.

15. Siew R. Y. J. Integrating sustainability into construction project portfolio management. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2016. Vol. 20. P. 101–108. doi: 10.1007/s12205-015-0520-z.

16. A Guide to the project management body of knowledge Construction (PMBOK® Guide). USA: Project Management Institute, 2016. 489 p.

17. Silvius A. J. G., Schipper R. P. J. Sustainability in project management: A literature review and impact analysis. *Social Business*. 2014. Vol. 4. № 1. P. 63–96. doi: 10.1362/204440814X13948909253866.

18. Papke-Shields K. E., Boyer-wright K. M. Strategic planning characteristics applied to project management. *International Journal of Project Management*. 2017. Vol. 35. Iss. 2. P. 169–179. doi: 10.1016/j.ijproman.2016.10.015.

19. Yu W.-D., Cheng S.-T., Ho W.-C., Chang, Y.-H. Measuring the

sustainability of construction projects throughout their lifecycle: A Taiwan lesson. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. Iss. 511. P. 1523. doi: 10.3390/su10051523.

20. Stanitsas M., Kirytopoulos K., Leopoulos V. Integrating sustainability indicators into project management: The case of construction industry. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 279. P. 123774. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123774.

21. Dabirian S., Khanzadi M., Taheriattar R. Qualitative modeling of sustainability performance in construction projects considering productivity approach. *International Journal of Civil Engineering*. 2017. Vol. 15. Iss. 8. P. 1143–11581. doi: 10.1007/s40999-017-0241-4.

22. Al-Tekreeti M.S., Beheiry S.M., Ahmed V. Commitment indicators for tracking sustainable design decisions in construction projects. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, Iss. 10. P. 6205. doi: 10.3390/su14106205.

23. Yu M., Zhu F., Yang X., Wang L., Sun X. Integrating sustainability into construction engineering projects: perspective of sustainable project planning. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. № 3. P. 784. doi: 10.3390/su10030784.

24. Fesenko T., Fesenko G., Bibik N. The safe city: developing of GIS tools for gender-oriented monitoring (on the example Kharkiv city, Ukraine). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3 № 2(87). P. 25–33. doi: 10.15587/1729-4061.2017.103054.

25. Campbell S.L., Chancelier JP., Nikoukhah R. Modeling and Simulation in Scilab. In: *Modeling and Simulation in Scilab/Scicos with ScicosLab 4.4*. New York: Springer, 2010. P. 73–106. doi: 10.1007/978-1-4419-5527-2_3.

26. Bamgbade, J.A.; Kamaruddeen, A.M.; Nawi, M.N.M.; Adeleke, A.Q.; Salimon, M.G.; Ajibike, W.A. Analysis of Some Factors Driving Ecological Sustainability in Construction Firms. *J. Clean. Prod.* 2019, 208, 1537–1545.

27. Huemann, M.; Silvius, G. Projects to Create the Future: Managing Projects Meets Sustainable Development. *Int. J. Proj. Manag.* 2017, 35, 1066–1070.

28. Babić, N.; Podbreznik, P.; Rebolj, D. Integrating Resource Production and

ConstructionUsingBIM.Autom.Constr.2010,19, 539–543.

29. The Box the Information Economy: A Study of Five Industries. Box Inc.: 2014. Available online: https://cdn.base.parameter1.com/files/base/acbm/fcp/document/2014/06/box-cloud-study_11535206.pdf.

30. Matti, T.; Antti, L. Improving the Information Flow in the Construction Phase of a Construction Project. In Proceedings of the Conference Creative Construction e-Conference 2020, Opatija, Croatia, 28 June–1 July 2020.

31. Opitz, F.; Windisch, R.; Scherer, R.J. Integration of Document- and Model-Based Building Information for Project Management Support. *Procedia Eng.* 2014, 85, 403–411.

32. Harty, C.; Koch, C. Revisiting Boundary Objects: ERP and BIM Systems as Multi-Community Artefacts. In Proceedings of the 6th Nordic Conference on Construction Economics and Organisation—Shaping the Construction, Copenhagen, Denmark, 13–15 April 2011; pp. 49–50.

33. Hueskes, M.; Verhoest, K.; Block, T. Governing Public–Private Partnerships for Sustainability: An Analysis of Procurement and Governance Practices of PPP Infrastructure Projects. *Int. J. Proj. Manag.* 2017, 35, 1184–1195.

34. Lakade, A.; Gupta, A.; Desai, D. A Project Management Approach Using ERP and Primavera in Construction Industry. *IOSR J. Mech. Civ. Eng. IOSR-JMCE* 2014, 1, 21–24.

35. Tambovcevs, A. ERP System Implementation in Latvian Manufacturing and Construction Company. *Technol. Econ. Dev. Econ.* 2012, 18, 67–83.

36. Boltana, A.S.; Gomez, J.M. A Successful ERP Implementation in an Ethiopian Company: A Case Study of ERP Implementation in Mesfine Industrial Engineering Pvt. Ltd. *Procedia Technol.* 2012, 5, 40–49.

37. Voordijk, H.; Van Leuven, A.; Laan, A. Enterprise Resource Planning in a Large Construction Firm: Implementation Analysis. *Constr. Manag. Econ.* 2003, 21, 511–521.

38. Chung, B.Y.; Skibniewski, M.J.; Lucas, H.C.; Kwak, Y.H. Analyzing Enterprise Resource Planning System Implementation Success Factors in the

Engineering–Construction Industry. *J. Comput. Civ. Eng.* 2008, 22, 373–382.

39. Mêda, P.; Researcher, G.; Sousa, H. Towards Software Integration in the Construction Industry–ERP and ICIS Case Study. In Proceedings of the 29th International Conference of CIB W78, Beirut, Lebanon, 17–19 October 2012; pp. 17–19.

40. Mesaros, P.; Mandicak, T.; Romanova, A.; Behunova, A. Developing of Managerial Competencies Trough ERP Systems in Slovak Construction Companies. In Proceedings of the 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), Stary Smokovec, Slovakia, 26–27 October 2017.

41. Çınar, E.; Ozorhon, B. Enterprise Resource Planning Implementation in Construction: Challenges and Key Enablers. *J. Constr. Eng. Manag. Innov.* 2018, 1, 75–84.

42. Huang, S.Y.; Chiu, A.A.; Chao, P.C.; Arniati, A. Critical Success Factors in Implementing Enterprise Resource Planning Systems for Sustainable Corporations. *Sustainability* 2019, 11, 6785.

43. Olawumi, T.O.; Chan, D.W.M.; Wong, J.K.W.; Chan, A.P.C. Barriers to the Integration of BIM and Sustainability Practices in Construction Projects: A Delphi Survey of International Experts. *J. Build. Eng.* 2018, 20, 60–71.

44. Safari, K.; AzariJafari, H. Challenges and Opportunities for Integrating BIM and LCA: Methodological Choices and Framework Development. *Sustain. Cities Soc.* 2021, 67, 102728.

45. Holzer, D. Fostering the Link from PLM to ERP via BIM the Aec Industry in Transition. In Proceedings of the IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Yokohama, Japan, 7–9 July 2014; pp. 75–82.

46. Barkokebas, B.; Khalife, S.; Al-Hussein, M.; Hamzeh, F. A BIM-Lean Framework for Digitalisation of Premanufacturing Phases in Offsite Construction. *Eng. Constr. Archit. Manag.* 2021, 28, 2155–2175.

47. Fesenko T. Improving models for sustainability evaluation of construction projects in the initiation and planning processes. *Eastern-European*

Journal of Enterprise Technologies, 2022, 4(3(118), P. 51–66.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263668>.

48. Фесенко Т.Г. Проекти зеленого будівництва Польщі: інформаційно-аналітичний контекст. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С. 242–247.