Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі та алгоритми розвитку інформаційного моделювання в будівництві
(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПм-21-2

Гайдило Д.О.
(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: проф. Фесенко Т.Г.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ _____ Коваленко А.А.
(підпис) (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 Гайдилу Дмитру Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі та методи розвитку інформаційного моделювання в будівництві

затверджена наказом по університету від " 03 " квітня 2023 р. № 318 Ст

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

3. Вхідні дані до роботи
Програмна архітектура BIM (Building Information Modeling)
Життєвий цикл реалізації будівельного проєкта
Національні стандарти з інформаційного моделювання будівництва (ДСТУ ISO 19650-1:2020 ДСТУ ISO 22263:2020; ДСТУ ISO 29481-1:2022; ДСТУ ISO 12006-2:2020)
Існуючі модель BIM зрілості (NBIMS CMM; IU BIM Proficiency Index та інші)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі
Дослідити існуючі підходи до впровадження технологій інформаційного моделювання будівництва.
Проаналізувати закономірності, принципи, засади розвитку BIM зрілості. Сформувати матрицю параметрів (критеріїв) оцінки BIM зрілості.
Запропонувати декілька алгоритмів, методів, моделей для проведення самооцінки BIM зрілості із використанням програмних (комп'ютерних) рішень

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	Аналіз підходів до інформаційного моделюван-	04.04.23–07.04.23	
	ня будівництва		
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	08.04.23–13.04.23	
3	Аналіз методів розвитку BIM. Опис категорій	14.04.23–18.04.23	
	і параметрів BIM зрілості		
4	Розробка інструментів для проведення	19.04.23–25.04.23	
	самооцінки BIM зрілості будівельної компанії		
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	10.05.23–11.05.23	
	та її попередний захист		
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензу-	12.05.23–16.05.23	
	вання		

Дата видачі завдання 03 квітня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Фесенко Т.Г.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 79 с., 9 рис., 8 табл., 2 дод., 44 джерел.

ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ, ОЦІНКА BIM-ЗРІЛОСТІ, БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, АНАЛІЗ ДАНИХ, ЕКОЛОГІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ, ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комплексного інструментарію для виявлення рівня BIM-зрілості системи управління будівництвом із використанням проєктно-орієнтованого підходу.

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджено сучасні програмні рішення, BIM-інструменти та особливості їх реалізації протягом життєвого циклу будівельного проєкту. Окреслено специфіку систематизації баз даних і підходи до систем найменування інформаційних контейнерів (файлів).

Проведено компаративний аналіз функціональних BIM-інструментів в різних операційних (Windows, Linux, Mac OS X). Встановлено, що для Window написана більшість програмного забезпечення і Windows забезпечує найвищий рівень BIM-зрілості.

Запропоновано удосконаленя методики оцінювання BIM-зрілості системи управління будівництвом. Проведено оцінювання якості найважливіших стратегічних будівельних проєктів і програм, орієнтованих на сталий розвиток. Обчислено інтегральний показник BIM-зрілості, що включає результати оцінок за критеріями «Technology», «Society» і «Participant».

ABSTRACT

Master’s thesis: 79 pages, 9 figures, 8 tables, 2 appendices, 44 sources.

BUILDING INFORMATIONMODELING, BIM-MATURITY ASSESSMENT, MULTI-CRITERIA DECISION MAKING, DATA ANALYSIS, SUSTAINABLE DESIGN, GREEN BUILDING

The major goal of this thesis is to develop a comprehensive toolkit for identifying the level of BIM-maturity of the construction management system using a project-oriented approach.

During the qualification work, modern software solutions, BIM tools, and features of their implementation during the life cycle of the construction project were investigated. The specifics of the systematization of databases and approaches to naming systems of information containers (files) are outlined.

A comparative analysis of functional BIM tools in different operating systems (Windows, Linux, Mac OS X) was carried out. It has been established that most of the software is written for Windows and Windows provides the highest level of BIM maturity.

It is proposed to improve the methodology for assessing the BIM maturity of the construction management system. The quality assessment of the most strategic construction projects and programs focused on sustainable development was conducted. An integral indicator of BIM maturity was calculated, which includes the results of evaluations according to the «Technology», «Society» and «Participant» criteria.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ІКТ – інформаційно-комунікативні технології

ІТ – інформаційні технології

BIM – інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling)

CMMI – Інтеграційна модель зрілості можливостей (Capability Maturity Model Integration)

3D, 4D – три (чотири) вимініть (Dimension, Dimensional)

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

ДСТУ – державний стандарт України

OS – операційна система (Operating System)

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)

БМР – будівельно-монтажні роботи

ВСТУП

Інформаційне моделювання будівництва (Building Information Modeling, BIM) – це процес, який передбачає створення та керування цифровими представленнями будівель та інших споруд. BIM передбачає створення 3D цифрової моделі будівлі або споруди, яка містить як геометричну, так і негеометричну інформацію. Цифрова модель може містити інформацію про матеріали, системи та компоненти будівлі, а також дані, пов’язані з її будівництвом, експлуатацією та обслуговуванням. BIM дозволяє зацікавленим сторонам візуалізувати будівлю у віртуальному середовищі та моделювати різні сценарії та варіанти дизайну.

Використання BIM може надати численні переваги, такі як покращена співпраця та спілкування між зацікавленими сторонами проекту, підвищена точність і продуктивність, а також зменшення помилок і переробки. BIM також може сприяти аналізу та моделюванню різних аспектів будівлі, таких як енергоефективність, структурна цілісність і оцінка вартості.

Програмні платформи BIM доступні від багатьох постачальників і зазвичай містять такі функції, як 3D-моделювання, управління інформацією та інструменти для співпраці. Впровадження BIM набуло все більшого поширення в будівельній галузі і зараз вважається важливим інструментом для архітекторів, інженерів, підрядників і менеджерів об’єктів.

BIM можна використовувати протягом усього життєвого циклу будівлі, від початкових етапів проектування та будівництва до управління та обслуговування об’єкта. На етапі проектування BIM може допомогти архітекторам та інженерам візуалізувати будівлю в 3D і визначити потенційні проблеми до початку будівництва. BIM-інструменти дозволяють створювати детальні креслення, графіків і списків матеріалів, які в подальшому використовуються для оптимізації процесу будівництва та мінімізації помилок. Під час будівництва BIM-інструменти допомагають відстежувати

прогрес та моніторити зміни у проєкті будівлі. Після завершення будівництва BIM можна використовувати для управління та обслуговування об’єкта, надаючи детальну інформацію про системи та компоненти будівлі.

Мета дослідження – розробка комплексного інструментарію для виявлення рівня BIM-зрілості системи управління будівництвом із використанням проєктно-орієнтованого підходу.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні завдання:

- проаналізувати сучасні IT-інструменти, які застосовуються для планування, виконання, контролю і моніторингу та забезпечення будівництва. Промаркувати значення BIM-інструментів в життєвому циклі будівельного проєкту;

- визначити концепції, моделі, методи, інструменти, які застосовують для удосконалення та розвитку застосування BIM-технологій в практиці будівельних проєктів;

- удосконалити методику оцінювання BIM-зрілості системи управління будівництвом на основі результатів оцінювання якості найважливіших стратегічних будівельних проєктів і програм, орієнтованих на сталий розвиток.

1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВНИЦТВА

1.1 Траєкторія розвитку BIM технологій

Розвиток BIM можна віднести до 1970-х років, коли системи автоматизованого проектування (САПР) були вперше представлені в архітектурній промисловості [1]. У 1980-х років набула популярності концепція параметричного проектування, яка дозволяла архітекторам створювати тривимірні цифрові моделі зі змінними параметрами. У 1990-х роках для опису процесу створення цифрових моделей будівель, які містили як геометричну, так і негеометричну інформацію, вперше було використано термін «Інформаційне моделювання будівель».

BIM набрав обертів на початку 2000-х років із випуском програмних платформ, які підтримували цей процес [2, 3]. Програмне забезпечення Revit від Autodesk, яке було випущено в 2002 році, вважається популяризацією BIM. У 2007 році Національний інститут будівельних наук опублікував першу версію національного стандарту BIM Сполучених Штатів, який надав рекомендації щодо використання BIM у будівельних проектах. З того періоду використання BIM набуло все більшого поширення в будівельній галузі. Тепер він використовується протягом усього життєвого циклу будівлі, від початкового проектування та етапів будівництва до управління та обслуговування об’єкта [4]. BIM також був інтегрований з іншими технологіями, такими як віртуальна реальність і доповнена реальність, для покращення візуалізації та передачі концепцій дизайну.

Останніми роками BIM продовжував розвиватися завдяки прогресу в технологіях і програмному забезпеченні, що дозволило зробити більш складне моделювання та аналіз. Наприклад, BIM тепер можна використовувати для енергетичного аналізу, структурного аналізу та оцінки

витрат [5, 13]. Крім того, використання BIM вийшло за рамки традиційних будівельних проектів і охопило інфраструктуру, таку як дороги, мости та тунелі.

Прийняття BIM також було зумовлене державними постановами та ініціативами, особливо в Європі. У 2014 році Європейський Союз прийняв директиву, що вимагає використання BIM в проектах державних закупівель. Так само у Сполученому Королівстві уряд зобов'язав використовувати BIM для всіх будівельних проектів державного сектора з 2016 року.

Незважаючи на численні переваги, впровадження BIM не обійшлося без проблем. Однією з основних перешкод є відсутність стандартизації в галузі, коли різні програмні платформи та компанії використовують різну термінологію та формати даних. Це ускладнило для зацікавлених сторін обмін та інтеграцію даних BIM.

Іншою проблемою була потреба в спеціальних навичках і знаннях для ефективного використання BIM. Це призвело до закликів до розширення програм навчання та освіти для підтримки розвитку кваліфікованої робочої сили. В цілому BIM змінило будівельну галузь, забезпечивши більш ефективні та спільні робочі процеси, покращивши точність і продуктивність, а також покращивши процес прийняття рішень. Оскільки технологія продовжує розвиватися, цілком ймовірно, що BIM продовжуватиме відігравати центральну роль у майбутньому проектуванні та будівництві будівель.

BIM є відносно новою технологією в Україні, але вона стає все більш популярною в архітектурі, інженерії та будівництві країни. Незважаючи на те, що в Україні немає офіційних вимог щодо використання BIM, багато будівельних компаній і власників будівель визнають його переваги та застосовують цю технологію. Однією з головних переваг BIM в Україні є його здатність покращувати співпрацю та комунікацію між зацікавленими сторонами проекту, що може допомогти зменшити кількість помилок та переробок, а також покращити загальну якість проекту [6, 7]. За допомогою

BIM можна оптимізувати дизайн будівлі, зменшити будівельні відходи та підвищити енергоефективність [8].

Впровадження BIM в Україні все ще є відносно низьким порівняно з іншими країнами, зростає визнання його важливості в будівельній галузі. Оскільки технологія продовжує розвиватися та набуває все більшого поширення, цілком ймовірно, що BIM відіграватиме дедалі важливішу роль у майбутньому проектування та будівництва будівель в Україні. Крім того, використання BIM в Україні також може сприяти підвищенню якості та безпеки будівельних проектів. BIM має змогу надавати детальну цифрову модель будівлі або споруди, яка може допомогти визначити потенційні загрози безпеці або будівельні дефекти, перш ніж вони стануть проблемою [6]. BIM також можна використовувати для моделювання різних сценаріїв і варіантів проектування, що може допомогти оптимізувати продуктивність будівлі та зменшити ризик недоліків проекту. Це може бути особливо важливим в Україні, де в минулому були занепокоєння щодо якості та безпеки деяких будівельних проектів.

Незважаючи на те, що впровадження BIM в Україні все ще знаходиться на початковій стадії, існує кілька ініціатив, спрямованих на сприяння його використанню в будівельній галузі. Наприклад, у 2019 році український уряд оголосив про плани розробити національний стандарт BIM і сприяти використанню BIM у будівництві державного сектора [9].

Запровадження BIM стає все більш важливим у будівельній галузі України, і необхідність використання даної технології прийнято урядом згідно з «Концепцією впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні» (затверджено Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 року). Також було прийнято Закон «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об’єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в

експлуатацію в установленому законодавством порядку» (*Постанова Верховної Ради України від 08.07.2022 №2364-IX*). Прийняття цього закону створило правові умови для спільного використання в Україні BIM-технологій усіма суб'єктами, залученими в процес проєктування, зведення, введення в експлуатацію, подальшого використання об'єктів будівництва з можливістю їх науково-технічного супроводу на всіх етапах життєвого циклу цих об'єктів.

Крім того, вже було розроблено чотири національних стандарти, які стосуються інформаційного моделювання в будівництві:

1) ДСТУ ISO 19650-1:2020 (ISO 19650-1:2018, IDT). Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи;

2) ДСТУ ISO 22263:2020 (ISO 22263:2008, IDT). Організація інформатизації про будівлі та споруди. Структура управління інформацією про проект;

3) ДСТУ ISO 29481-1:2022 (ISO 29481-1:2017, IDT; ISO 29481-1:2016, IDT). Інформаційні моделі будівель. Настанова з доставляння інформації. Частина 1. Методологія та формат;

4) ДСТУ ISO 12006-2:2020 (ISO 12006-2:2020, IDT; ISO 12006-2:2015, IDT). Зведення будівель. Структура інформації про об'єкти будівництва. Частина 2. Основні принципи класифікації).

Загалом, впровадження BIM в Україні, ймовірно, продовжить зростати в найближчі роки, оскільки все більше компаній і організацій визнають його переваги. Оскільки ця технологія набуває все більшого поширення, вона має потенціал трансформувати будівельну галузь в Україні шляхом підвищення якості, безпеки та ефективності проектування та будівництва будівель [10].

1.2 Впровадження BIM: переваги і ризики

BIM покращує співпрацю між різними командами шляхом використання спільної цифрову платформу для проектування, будівництва та управління будівлею чи інфраструктурним проєктом. Перевагами впровадження BIM:

1) централізоване формування та управління інформацією – BIM створює централізовану базу даних інформації про проект, доступ до якої мають усі зацікавлені сторони, залучені до проекту [2, 5]. Це усуває необхідність шукати в різних документах і кресленнях для пошуку потрібної інформації, зменшуючи помилки та затримки;

2) співпраця в режимі реального часу – BIM дозволяє кільком членам команди працювати над однією моделлю одночасно, забезпечуючи співпрацю та комунікацію в режимі реального часу [11-12]. Це означає, що проблеми можна швидко виявити та вирішити, мінімізуючи ризик затримок і помилок;

3) покращення координації – BIM забезпечує ефективну координацію між різними дисциплінами, такими як архітектура, конструкції, механіка, електрика та сантехніка. Модель дозволяє виявити та вирішити конфлікти або проблеми до початку будівництва, зменшуючи ризик помилок і переробки [2, 5, 13];

4) удосконалення процесу прийняття рішень – BIM надає зацікавленим сторонам велику кількість даних і аналізу, які можна використовувати для прийняття обґрунтованих рішень протягом життєвого циклу проекту [14-15]. Серед інших факторів це включає дані про вартість, графік і стійкість.

Інформаційне моделювання в будівництві покращує візуалізацію будівельних проектів, надаючи цифрову 3D-модель, яка забезпечує реалістичне та точне уявлення про дизайн [3]. Це дозволяє зацікавленим сторонам візуалізувати проект у спосіб, який неможливий за допомогою традиційних двовимірних креслень або планів [16]. Крім того моделі можна

експортувати на платформи віртуальної реальності, що дозволяє зацікавленим сторонам зануритися в проект і відчути його більш реалістичним способом.

BIM полегшує планування будівництва, надаючи точну та детальну інформацію про матеріали, кількість і вартість [3, 5]. Це може допомогти у складанні кошторису та бюджету, а також в управлінні закупівлями та логістикою. Також є можливість провести аналіз проекту для виявлення областей, де витрати можна зменшити без шкоди для якості чи функціональності [3]. Моделюючи різні сценарії та оцінюючи їх вплив на вартість, будівельні групи можуть визначити найбільш економічно ефективні рішення для проекту. Крім того, BIM може допомогти будівельним групам оптимізувати послідовність і графік будівництва шляхом імітації різних сценаріїв і оцінки їхнього впливу на графік і бюджет проекту. Виявляючи потенційні вузькі місця та затримки на ранній стадії, будівельні групи можуть вживати профілактичних заходів, щоб уникнути їх і підтримувати проект у потрібному плані [2, 3].

Дана технологіє може бути потужним інструментом для управління об’єктами, надаючи менеджерам установ детальну інформацію про стан об’єктів в реальному часі. Використовуючи можливості BIM, менеджери об’єктів можуть підвищити ефективність, зменшити витрати та забезпечити безпеку. Перш за все BIM можна використовувати для створення детальної цифрової моделі об’єкта, включаючи все обладнання, системи та компоненти [17]. Це може допомогти керівникам установ відстежувати розташування майна, його стан і графіки технічного обслуговування, підвищуючи ефективність і знижуючи витрати.

Також, за допомогою BIM можна відстежити використання та зайнятості простору, дозволяючи менеджерам об’єктів оптимізувати використання простору та планувати майбутні потреби. BIM надає можливості для моніторингу використання енергії на об’єкті, надаючи дані про енергоспоживання в режимі реального часу [3, 18]. Це може допомогти

керівникам закладів визначити можливості для економії енергії та запровадити енергоефективні заходи.

Хоча технологія BIM і пропонує багато переваг, включаючи покращену співпрацю, координацію та економічну ефективність. Однак впровадження BIM також представляє кілька проблем і ризиків, які необхідно ретельно розглянути та керувати ними, щоб забезпечити його успішне впровадження в будівельній галузі.

Однією з важливих проблем впровадження BIM є великі початкові інвестиції, які організації повинні зробити в сферах апаратного забезпечення, програмного забезпечення та персоналу [19]. Щоб успішно запровадити BIM, організаціям необхідно інвестувати в спеціалізоване обладнання, програмне забезпечення та висококваліфікований персонал для його роботи. Це може бути значним фінансовим тягарем для організацій, які ще не інвестували значні кошти в технології або мають обмежені фінансові ресурси. Крім того, програмне забезпечення BIM швидко розвивається, вимагаючи частих оновлень, що може збільшити вартість впровадження.

Окрім великих початкових інвестицій, впровадження BIM також вимагає значних культурних змін у будівельній галузі. BIM вимагає високого рівня співпраці та постійної взаємодії між архітекторами, інженерами, підрядниками та іншими зацікавленими сторонами проекту, що, можливо, не було нормою в минулому. Деякі учасники проекту можуть бути не готові до змін або можуть не мати необхідних навичок чи знань для ефективного використання BIM. Тому необхідно запровадити навчальні програми, щоб усі учасники проекту мали необхідні навички та знання для ефективного використання BIM. Крім того, необхідно розробити та впровадити нові робочі процеси, щоб повною мірою використовувати переваги спільних та скоординованих функцій BIM.

Також для впровадження BIM необхідна наявність стандартизованих процесів і протоколів. BIM вимагає високого рівня співпраці та спілкування між зацікавленими сторонами проекту, а відсутність стандартизованих

процесів і протоколів може призвести до непорозумінь, помилок і переробок, що може збільшити вартість проекту та терміни [22]. Тому вкрай важливо мати надійні протоколи, щоб забезпечити ефективну співпрацю та спілкування всіх зацікавлених сторін. Крім того, відсутність стандартизації може призвести до проблем із обміном даними та співпрацею, що робить важливим переконатися, що всі зацікавлені сторони проекту використовують сумісні програмні додатки.

Безпека даних і конфіденційність також є значними ризиками, пов’язаними з впровадженням BIM [20]. BIM-проекти зазвичай передбачають збір, зберігання та обмін великими обсягами даних, включаючи конфіденційну та службову інформацію. Тому організації повинні переконатися, що їхні заходи безпеки та конфіденційності є надійними та відповідають галузевим стандартам і нормам, щоб уникнути витоку даних або кібератак [21]. Крім того, право власності на дані та права інтелектуальної власності може бути важко визначити в середовищі BIM, що може призвести до потенційних юридичних та договірних проблем [22].

Вищевказана потенціальна юридична проблема є не єдиною, що може бути пов’язана із впровадженням BIM, це також може призвести до договірних проблем. Моделі BIM дуже деталізовані та складні, а помилки або упущення в моделях можуть призвести до помилок у проектуванні та будівництві, затримок і перевищення витрат. Тому важливо переконатися, що контракти та юридичні угоди між зацікавленими сторонами проекту чітко визначають обов’язки, пов’язані з використанням BIM та можливими помилками. Оскільки BIM-моделі продовжують ускладнюватися, зростає ймовірність судових суперечок і позовів про відповідальність, тому важливо мати надійні контракти та юридичні угоди [23].

Впровадження BIM також може створити проблеми, пов’язані з впровадженням нових робочих процесів. BIM вимагає суттєвих змін у способах проектування, будівництва та управління будівельними проектами, і це може бути важко для організацій, які звикли до традиційних методів.

Запровадження нових робочих процесів і процесів може призвести до опору та відсутності згоди з боку зацікавлених сторін проекту, що може перешкодити успішному впровадженню BIM. Тому важливо залучати зацікавлених сторін проекту до процесу планування та реалізації, щоб переконатися, що вони інвестують в успіх проекту та готові прийняти нові робочі процеси та процеси.

Водночас, впровадження BIM також може призвести до проблем з продуктивністю. Незважаючи на те, що технологія BIM пропонує багато переваг, її впровадження та використання також може зайняти багато часу, що може призвести до проблем з продуктивністю, особливо на ранніх етапах впровадження. Тому дуже важливо ретельно планувати та керувати процесом впровадження, щоб мінімізувати будь-який потенційний негативний вплив на продуктивність. Це може включати наймання додаткового персоналу, надання додаткового навчання та освітніх програм або коригування графіків проекту, щоб урахувати криву навчання, пов’язану з впровадженням BIM.

Підсумовуючи, впровадження BIM пропонує значні переваги для будівельної галузі, включаючи покращену співпрацю, координацію та економічну ефективність. Однак це також пов’язано з проблемами та ризиками, які необхідно ретельно розглянути та керувати ними. Ці виклики включають високі початкові інвестиції, потребу в стандартизованих процесах і протоколах, ризики безпеки даних і конфіденційності, юридичні та договірні проблеми, впровадження нових робочих процесів, проблеми сумісності та проблеми продуктивності. Вирішення цих проблем потребує ретельного планування, чіткої комунікації, надійних протоколів і контрактів, а також постійних програм навчання. При правильному підході впровадження BIM може бути успішним, що призведе до значних переваг для будівельної галузі.

2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

2.1 Методи оцінки BIM-зрілості

Першим інструментом вимірювання зрілості BIM є NBIMS CMM, запропонований Національним інститутом будівельних наук у 2007 році як частина його відомого національного стандарту BIM. Модель оцінює впровадження BIM в 11 сферах за допомогою 10-рівневої шкали [24]. Остаточна оцінка зрілості BIM розраховується шляхом зваженого підсумовування всіх областей. Оцінка відображається в моделі зрілості з п’ятьма рівнями, щоб вказати ступінь зрілості, якого досягає користувач BIM. Однак користувачі можуть регулювати ваги мір відповідно до власних потреб, що різко знижує об’єктивність цього інструменту.

Два роки потому Університет Індіани розробив індекс IU BIM Proficiency Index. Цей інструмент створено за допомогою електронної таблиці Excel, яка складається з 8 областей, 32 показників і 5 рівнів зрілості [25]. На відміну від NIBMS CMM, кожен показник має однакову вагу в IU BIM Proficiency Index. Щоб оцінити впровадження BIM, кожному показнику призначається оцінка від нуля до одиниці. Нуль вказує на відсутність відповідних функцій BIM, тоді як один вказує на те, що функції повністю застосовані (Університет Індіани, 2009).

Хоча NBIMS CMM та IU BIM Proficiency Index є основою для наступних інструментів, їх зазвичай критикують через високу суб’єктивність, обмежений обсяг вимірювань у технічних аспектах, а також недостатню надійність і послідовність [26]. BIM MM був розроблений у 2009 році, щоб подолати ці недоліки. Базуючись на усталених теоріях [27], BIM MM надає вичерпні пояснення для кожного заходу, щоб мінімізувати невідповідності, і

розширює сферу вимірювання, щоб охопити нетехнічні аспекти BIM [28]. BIM MM містить три основні області та використовує п’ятирівневу шкалу для проведення вимірювань. Однак кількість заходів залежить від інноваційної системи деталізації, яка буде розроблена далі. Враховуючи відсутність інформації про BIM MM на високому рівні деталізації, включено лише деталізацію рівня 2, що включає 12 і 36 заходів. Загальний рівень зрілості BIM розраховується шляхом усереднення балів усіх показників (рисунок 2.1).

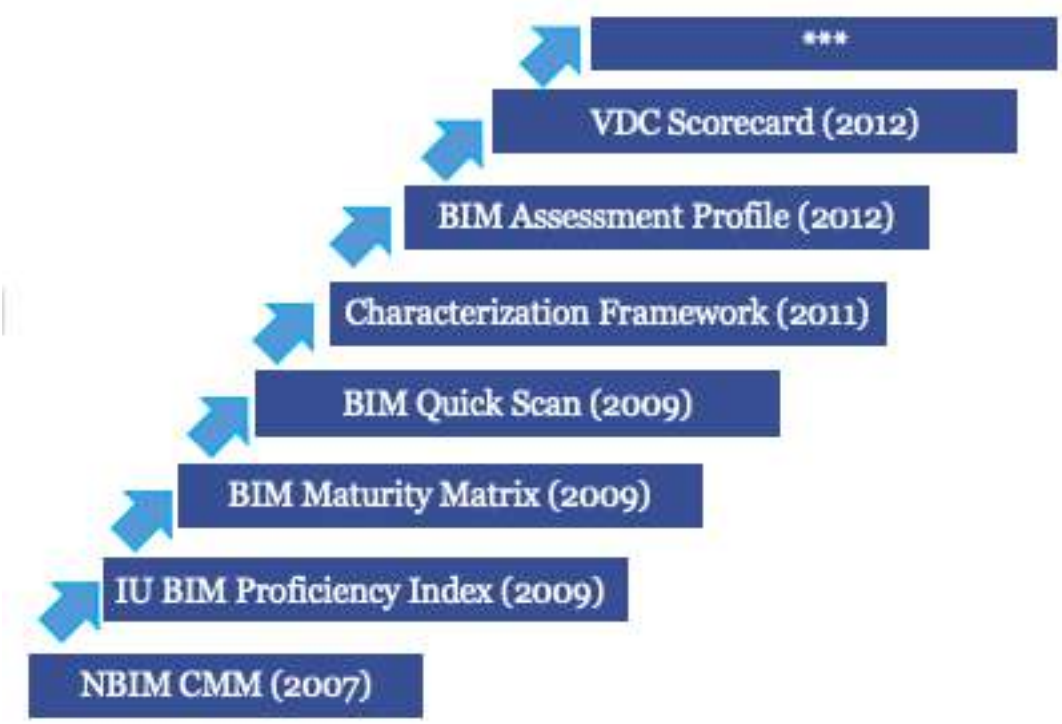

Рисунок 2.1 – Розвиток моделей BIM-зрілості

BIM Quick Scan було запущено в Нідерландах у 2011 році і складається з чотирьох основних напрямків і 44 заходів, організованих у формі опитувальника з вибором відповідей [29]. Вибір заходів і формування основи базуються на методі Дельфі з п’яти раундів. Підхід до оцінки – це зважене підсумовування. BIM Quick Scan має дві версії, а саме безкоштовне самостійне онлайн-сканування та платне сертифіковане сканування, яке проводять консультанти. Ці консультанти надають професійні поради як

щодо результатів вимірювань, так і щодо потенційних покращень. Практична система порівняння зрілості BIM вперше створена за допомогою цього інструменту. Система являє собою сукупність сотень зразків даних. На основі системи виявляються ринкові умови BIM у Нідерландах і навіть у Європі, а інструмент можна оптимізувати за допомогою постійного зворотного зв'язку.

Деякі інструменти, також розроблені в той час, демонструють масштабні імітації, позбавлені чітких функцій, тому їх виключено з дослідження. Проте структура характеристик, запропонована в докторській дисертації в 2011 році, відкрила нові можливості для вимірювання зрілості BIM. Хоча класифікація структури характеристики, яка складається з трьох основних областей, 14 підрозділів і 56 заходів [30], схожа з іншими інструментами, вона характеризує схеми оцінювання. Структура вводить кількісні порожні та відкриті запитання, які доповнюють традиційні шкали або підходи з множинним вибором. Крім того, Delphi, комплексний статистичний аналіз і особисті опитування користувачів проводяться одночасно для перевірки та оптимізації, що також є особливим внеском фреймворку.

Натхненний структурою характеристик, VDC Scorecard був розроблений у 2012 році Стенфордським університетом для проведення методологічного, адаптивного, кількісного, цілісного та практичного оцінювання [31]. VDC Scorecard включає 4 основні області, 10 розділів і 74 заходи. Інструмент має кілька відмінних функцій, таких як встановлення рівня довіри, який аналізує вхідні дані та кількісні вимірювання ступеня об'єктивної відповідності. VDC Scorecard також є інструментом порівняльного аналізу, де відповіді кожного показника будуть оцінюватися відповідно до галузевих норм і перетворюватися на п'ятирівневий процентиль рейтингу, щоб вказати рівень зрілості BIM у порівнянні з іншими користувачами.

2.2 Основні параметри і категорії оцінки BIM-зрілості

Вимірювання зрілості процесу зосереджено на процесі моделювання та інформаційному потоків BIM, а також на координації між різними дисциплінами та процесами документування. Інструменти зазвичай вибираються для оцінки кількох типів цих процесів замість усіх процесів. В таблиці 2.1 визначені типові питання та основні вимірювальні аспекти оцінки процесу в дев'яти інструментах відповідно.

Таблиця 2.1 – Типові питання, пов'язаних з процесом, для оцінки BIM-зрілості

Назва BIM-інструментів	Типові запитання/заходи
1	2
NBIMS CMM	Ступінь підтримки IFC процесу IPD, Ступінь процесів управління змінами, Ступінь інтеграції BIM у бізнес, Своєчасність відповідей, Уявлення про життєвий цикл
IU BIM Proficiency Index	Процес виявлення колізій проектування, Впровадження структурної моделі та моделі MEP, Інновації методології IPD, Процеси на координаційних зустрічах, Генерація документації моделі після тендеру
BIM Maturity Matrix (Level 2)	Якою мірою розвинена інфраструктура знань, якою мірою модельний виробничий процес і сервіс визначені та добре керовані
BIM Quick Scan	Використання/повторне використання інформації від партнерів? Де в процесі ви використовуєте BIM?

Продовження таблиці 2.1

1	2
	Чи описано інформаційні потоки у вашій компанії?
BIM Assessment Profile	Своєчасна відповідь на RFI, якщо вона надана протягом скількох календарних днів?
VDC Scorecard	Ефективність зустрічей VDC/BIM, який із наведених нижче процесів приніс очікувані переваги?
BIMCS	Кількість та ефективність зустрічей для покращення LOD.
Owner's BIM CAT	Більшість запитань схожі на згадані вище
Characterization Framework	Більшість запитань схожі на згадані вище; плюс Поясніть фактичний вплив BIM на робочі процеси

Всі інструменти підкреслюють, що «ядром» BIM є координація між різними дисциплінами або зацікавленими сторонами та сумісність. За винятком питань координації, дисперсія вимірювання акценту на процесах, пов'язаних з BIM. Наприклад, IU BIM Proficiency Index розглядає лише технічний аспект, який у даному випадку включає процеси моделювання та генерування інформації. NBIMS CMM і BIM Quick Scan наголошують як на технічних, так і на управлінських аспектах, таких як процеси збору та генерації інформації для першого та процеси управління потоком інформації та обміну знаннями для другого. VDC Scorecard і Characterization Framework містять оцінки фактичних показників у процесах, пов'язаних з BIM, і отримані переваги та вплив на поточні процеси відповідно. Власник BIM CAT і Characterization Framework проводять комплексні вимірювання, розширюючи діапазон вимірювань і включаючи детальні запитання.

Профіль оцінки BIM є досить виразним у цій категорії, оскільки він підкреслює здатність переходу від первинних процесів, у яких BIM не

використовується або на початковій стадії, до зрілих процесів після успішного впровадження BIM, що вимагає конкретних цілей і етапів. Таким чином, користувачі можуть розробити чітку дорожню карту впровадження BIM. Інструменти, які вимірюють технічну зрілість BIM, мають різну концентрацію. Типові питання та основні вимірювальні аспекти оцінки техніки узагальнені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Типові питання, пов'язаних з технікою, для оцінки BIM-зрілості

Назва BIM-інструментів	Типові запитання/заходи
1	2
NBIMS CMM	Якою мірою модель є інтелектуальною; якою мірою модель поєднується з просторовою інформацією та ГІС; до якої міри інформація є точною на основі фактичної правди
IU BIM Proficiency Index	Наскільки модель геометрично правильна; якою мірою моделі відображають архітектурне середовище та задум дизайну; до якої міри модель створює правильний графік кількості
BIM Maturity Matrix (Level 2)	Якою мірою досягнуто мережеве рішення в режимі реального часу; до якої міри використання програмного забезпечення та BIM відповідає організаційним стратегіям або планам; до якої міри програмне та апаратне забезпечення адекватні та знаходяться під контролем і моніторингом
BIM Quick Scan	Який семантичний рівень вашого BIM? Для яких програм ви використовуєте BIM? Що таке повторне використання даних BIM? Ви використовуєте відкриті стандарти для

Продовження таблиці 2.2

1	2
	спілкування?
BIM Assessment Profile	Якою мірою дані BIM отримуються та використовуються в O&M; до якої міри використання BIM застосовується в O&M, до якої міри вибір програмного забезпечення BIM відповідає планам організації
VDC Scorecard	Яка середня втрата інформації після обміну моделлю? Який найпоширеніший формат обміну моделями? Вибір використаного аналізу на основі моделі. Внесок технологій BIM для користувачів.
BIMCS	Наскільки моделі BIM підвищують точність оцінки витрат; Продемонструвати корисну функціональність програмного забезпечення BIM; Продемонструвати типи використання моделі
Owner's BIM CAT	Більшість запитань схожі на ті, що були наведені вище
Characterization Framework	Загальна кількість етапів моделювання/загальна кількість об'єктів; Кількість звернень до моделі за тривалість; Кількість розбіжностей між моделлю кожної дисципліни; Розмір моделі на SF будівлі

Використання або функції BIM, точність інформації та багатство даних є найпоширенішими аспектами вимірювання. VDC Scorecard і Characterization Framework підкреслюють якість обміну інформацією та об'єднують оцінки фактичних характеристик і впливу на продукти BIM. BIM MM і VDC Scorecard інноваційно розглядають безпеку інформації та доступ.

Більш ранні інструменти, як правило, оцінюють конкретні використання або функції BIM, такі як виявлення зіткнень в IU BIM

Proficiency Index і просторові можливості з ГІС у NBIMS CMM. Можливе обгрунтування полягає в тому, що на момент розробки інструментів існувала лише невелика кількість застосувань BIM. Таким чином, оцінка цих полів стала критичною для визначення зрілості BIM.

Ще одна помітна відмінність полягає у визначенні технічної зрілості BIM. Різні інструменти є упередженими, оскільки вимірювання покращаться, коли буде прийнято більше використання або функцій BIM. Навпаки, BIM MM і BIM Assessment Profile підкреслюють ступінь узгодженості впровадження BIM з організаційними стратегіями, бюджетами та планами, які можуть бути реалістичними та гнучкими та уникати марних витрат лише для досягнення високих результатів оцінювання.

Не всі інструменти вимірюють BIM-зрілість з точки зору організаційних питань. Акцент вимірювання та типові запитання представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Типові питання, пов’язаних з організаційною, для оцінки BIM-зрілості

Назва BIM-інструментів	Типові запитання/заходи
1	2
NBIMS CMM	Наскільки бачення BIM сформоване та загальнодоступне; якою мірою впровадження BIM інтегровано з організаційними стратегіями; Як керівництво ставиться до BIM; наскільки бюджет BIM відповідає технологіям
IU BIM Proficiency Index	Чи існує повна підтримка компанії BIM (на всіх рівнях організації)? Чи є термін «BIM» частиною бачення та стратегії? Чи зрозуміло, чого ваша організація хоче досягти за допомогою BIM?

Продовження таблиці 2.3

1	2
BIM Maturity Matrix (Level 2)	Наскільки чіткі організаційні місії та бачення встановлені та доведені до відома; в якому ступені надається управлінська підтримка; наскільки цілі або завдання BIM відповідають стратегіям
BIM Quick Scan	Перелічіть найважливіші цілі VDC/BIM; скільки цілей можна виміряти? Як часто відстежуються цілі? Наскільки цілі досягнуті на основі фактичних даних про ефективність
BIM Assessment Profile	Вартість управління BIM; Якою мірою встановлено BIM-бачення; Як BIM впливає на бізнес користувача
VDC Scorecard	Більшість запитань схожі на ті, що були наведені вище

Усі інструменти, які вирішують організаційні проблеми, оцінюють наявність цілей BIM або бачення, оскільки ці аспекти є фундаментальними для впровадження інновацій в організації. Деякі інструменти, такі як BIM Assessment Profile і Owner's BIM CAT, додатково розрізняють цілі, цілі, бачення та місію та проводять вимірювання окремо. Інші інструменти спрощують концепції до одного або двох заходів, що може викликати плутанину, якщо використовується більше ніж один інструмент. Наприклад, якщо користувач встановив конкретні цілі BIM відповідно до VDC Scorecard, але не розробив макроорганізаційні заяви про бачення BIM, які вимагаються профілем оцінки BIM, результати оцінювання, ймовірно, відрізнятимуться.

У цій категорії виділяються VDC Scorecard і Characterization Framework. Система показників VDC призначає конкретні та кількісно визначені цілі для кожної встановленої цілі. Наприклад, ціль економії витрат може бути досягнута за допомогою таких цілей, як зменшення частоти змін замовлення. Фактичні показники реєструються на основі цих цілей, а об'єктивні відповідності розраховуються. Таким чином, на відміну від

одноразових оцінок, VDC Scorecard розвиває цикли зворотного зв’язку, які спонукають користувачів встановлювати цілі та досягати їх. Characterization Framework оцінює позитивний і негативний вплив BIM на ефективність організації, що стимулює користувачів своєчасно виявляти та виправляти проблеми.

Інші інструменти, за винятком двох згаданих вище інструментів, підкреслюють важливість підтримки з боку керівництва з точки зору розподілу бюджету та науково-дослідних робіт. BIM Quick Scan і BIM MM цінують ставлення керівництва до BIM, тоді як BIM MM і BIM Assessment Profile підкреслюють, що встановлені цілі повинні відповідати організаційним стратегіям.

Шість із дев’яти інструментів вимірюють кадрову структуру BIM або можливості та участь зацікавлених сторін, як зазначено в таблиці 2.4. VDC Scorecard and Characterization Framework оцінюють зрілість BIM у проектах. Таким чином, ці інструменти в основному вимірюють проблеми, пов’язані із зацікавленими сторонами, тоді як інші інструменти зосереджуються на кадрових питаннях в організаціях. Структура характеристики в цій категорії оцінює лише наявні навички та досвід зацікавлених сторін і ігнорує навчання та психологічні аспекти. Таким чином, наявні здібності переважують надання тренінгів BIM для зацікавлених сторін інструменту.

Таблиця 2.4 – Типові питання, пов’язаних з людиною, для оцінки BIM-зрілості

Назва BIM-інструментів	Типові запитання/заходи
1	2
BIM Maturity Matrix (Level 2)	Якою мірою визначені обов'язки та ролі BIM; наскільки персонал здатний BIM; до якого ступеня надається навчання чи освіта

Продовження таблиці 2.4

1	2
BIM Quick Scan	Чи є BIM-чемпіони в організації? Чи забезпечуєте ви структуроване навчання персоналу? Чи подобається вашим співробітникам працювати з BIM? Який у середньому рівень практичного досвіду BIM ваших співробітників
BIM Assessment Profile	Якою мірою визначені обов'язки та ролі BIM; до якого ступеня надається навчання чи освіта
VDC Scorecard	Наскільки зацікавлені сторони задоволені результатами BIM? Яке ставлення стейкхолдерів до BIM? Ви призначили BIM Champion? Які навички BIM у члена команди проекту?
Characterization Framework	Кількість осіб, які використовують BIM; Кількість осіб, які будують BIM; Кількість зацікавлених сторін, які ініціюють зусилля BIM;
Owner’s BIM CAT	Наскільки заплановані та реалізовані практики найму, оцінки та навчання; до якої міри визначені обов'язки та ролі BIM

Організація обов’язків має універсальне значення. Однак у більшості відповідних заходів відсутні конкретні визначення чи описи цих обов’язків і надмірно акцентується роль лідера BIM. Одним винятком є профіль оцінювання BIM, який представляє чотири основні типи BIM-персоналу, а саме: чемпіон BIM, спонсор BIM, BIM-керівник окремих підрозділів та BIM-оператор. Ці аспекти створюють основу для розробки конкретних і функціональних кадрових механізмів від управлінського до операційного рівнів.

Навички та досвід персоналу BIM є ще одним критичним показником,

який оцінюється в усіх інструментах, окрім BIM Assessment Profile. BIM MM підкреслює цей аспект і розробив модель під назвою BIM Competency Index для конкретного вимірювання індивідуальних можливостей BIM (Sccuar та ін., 2013). Однак індекс компетенції BIM не так добре визнаний, як BIM MM, і він схожий на розділ «Людина» в BIM MM з високою деталізацією, тому його виключено з дослідження.

Деякі інструменти також враховують проблеми ментальності персоналу чи зацікавлених сторін. VDC Scorecard і BIM Quick Scan вимірюють задоволеність і насолоду співробітників від роботи з BIM. Профіль оцінки BIM і BIM CAT власника оцінюють готовність до змін. Ці оцінки мають вирішальне значення, оскільки робочі стреси, викликані впровадженням інновацій, можуть суттєво вплинути на продуктивність. Таким чином, вибір використання BIM з належною складністю є важливим для стимулювання виробництва, уникаючи перешкод.

Інструменти не зосереджені на оцінках впровадження стандартів BIM, як на інших категоріях, що відображається в низькій кількості запитань у цій галузі (табл. 2.5). VDC Scorecard навіть доручає вибір інструкцій користувачам, просто вимагаючи від них поставити прапорці, щоб продемонструвати інструкції, які вони вирішили прийняти.

Однак BIM MM (рівень 2) є винятком. Інші інструменти вимагають лише загальних демонстрацій прийнятих стандартів або просто вимірювання певних типів інструкцій, таких як інформація або стандарти розбивки моделі та стандарти обміну інформацією в BIM Assessment Profile та впровадження BIM Execution Plan (BEP) в IU BIM Proficiency Index. BIM MM (рівень 2) розширює сферу вимірювання та розробляє конкретні заходи для подальшого включення питань контрактів, процедур порівняльного аналізу та планів контролю якості. BIM MM підкреслює ступінь відповідності між впровадженням стандартів BIM та організаційними стратегіями, які заохочують прийняття стандартів, які відповідають довгостроковим планам організації.

Таблиця 2.5 – Типові питання вимірювань, пов’язаних зі BIM-стандартами

Назва BIM-інструментів	Типові запитання/заходи
1	2
IU BIM Proficiency Index	Наскільки BEP належним чином створено та впроваджено
BIM Maturity Matrix (Level 2)	Якою мірою доступні докладні рекомендації; до якої міри 3D-моделі керуються детальними стандартами; до якої міри укладено угоду щодо управління інтелектуальним майном BIM
BIM Quick Scan	Чи використовуєте ви відкриті стандарти для спілкування із зовнішніми партнерами? Ви віддаєте перевагу певному виду контракту з вашими партнерами? Чи існує контроль якості для BIM?
BIM Assessment Profile	Якою мірою стандарти використовуються для визначення потреб у даних експлуатації та технічного обслуговування; до якої міри стандарти використовуються для структури розбивки моделі
VDC Scorecard	Виберіть вміст, який охоплює сфера застосування рекомендацій BIM; Чи встановили ви будь-які рекомендації BIM або BEP і перелічіть їх (якщо такі є)
Owner’s BIM CAT	Наскільки детальні робочі вказівки доступні; наскільки реалізовані шаблони BEP; наскільки процедури доставки добре визначені та поширені

Фреймворк — це статична структура, яка організовує питання, визначає область вимірювання та визначає інтегральні характеристики інструментів. У наступному вмісті представлені та порівняні структури дев’яти інструментів.

На відміну від NBIMS CMM, який є найбільш раннім розробленим інструментом, де всі 11 запитань знаходяться в тій самій ієрархії, всі інші інструменти мають дві-чотири ієрархії та відповідні класифікації. NBIMS CMM має лише невелику кількість заходів, які обмежуються технічними аспектами. Таким чином, подальша класифікація є непотрібною. Коли кількість запитань збільшується, відповідний розподіл ієрархій і розробка класифікацій є необхідними для отримання додаткових показників, не спричиняючи неочікуваних збігів і помилок.

Однак кількість ієрархій, а також підрозділів і підрозділів у кожній ієрархії різняться залежно від інструментів. Як наслідок, підрозділи або підрозділи з однаковою назвою можуть містити різні заходи. Наприклад, показник «Існування пов'язаних з BIM ролей» класифікується в розділі «Організація та управління» в BIM Quick Scan. Однак цей захід входить до підрозділу «Людські ресурси» в BIM MM. Ці відмінності легко призводять до плутанини, особливо коли використовується більше ніж один інструмент. Якщо один інструмент використовується для вимірювання, а інший використовується для перевірки, в межах одних і тих самих аспектів вимірювання отримують різні результати.

Гнучкі інструменти можна налаштувати відповідно до користувачів BIM різного масштабу, рівня зрілості BIM і основних типів бізнесу. Однак більшість інструментів або не вирішують проблеми гнучкості, або обходять проблеми для націлювання на певних користувачів, як-от BIM Assessment Profile для власників об'єктів. Крім того, інструменти, які поєднують кількісні та якісні питання, водночас приймаючи кілька методів оцінки, мають тенденцію бути більш гнучкими.

BIM MM досить виразний, що характеризує його систему гранулярності як фільтри заходів. BIM MM включає чотири рівні деталізації. Кожен рівень містить різну кількість питань для різних цілей оцінювання, які варіюються від базового виявлення ситуації на нижчих рівнях до точного аудиту на високих рівнях. Однак BIM MM має обмеження. Кількість

запитань і складність вимірювання зростає з рівнем деталізації, а відсутність посібників користувача зменшує застосовність інструменту, що вимагає відповідної допомоги. Крім того, BIM MM не може коригувати вимірювання відповідно до інших атрибутів, окрім масштабу, наприклад типів бізнесу.

2.3 Механізми оцінки BIM-зрілості

Інструменти використовують різні підходи до оцінювання. Масштаб є найпоширенішим методом, який використовується в усіх інструментах, крім IU BIM Proficiency Index, BIM Quick Scan і BIMCS. IU BIM Proficiency Index безпосередньо просить оцінювачів визначити оцінку від нуля до одиниці в кожній області вимірювання. Таким чином, цей інструмент дуже суб'єктивний. BIM Quick Scan і BIMCS використовують опитувальники з вибором відповідей і чисте кількісне заповнення бланка як підходи до оцінювання відповідно.

Низьку гнучкість і комплексність у прийнятті єдиного підходу до оцінки, кілька інструментів, таких як VDC Scorecard, Characterization Framework, поєднують кілька підходів і включають відкриті запитання, такі як «Причини ітерацій BIM» і «Список найважливіших BIM». цілі», щоб враховувати суб’єктивні думки людей. Враховуючи різноманітність підходів до оцінювання, правила або алгоритми, які перетворюють відповіді користувачів на числові бали, також є критичними для функціональності інструменту. На щастя, користувачам потрібно лише повністю відповісти на всі запитання у вибраних інструментах і надіслати їх назад через онлайн-інтерфейси або електронною поштою. Допоміжні дослідницькі групи згодом проведуть фонові розрахунки та отримають результати.

Усі інструменти використовують зважене підсумовування як метод обчислення балів. Для отримання кінцевого результату кожному питанню та розділу надається певна вага. Оцінки запитань множаться на відповідні ваги,

щоб отримати бали розділів, до яких належать ці запитання. Кінцевий результат розраховується шляхом додавання балів розділів, помножених на відповідні ваги підрозділів.

Забезпечити достовірність вимірювань, особливо для кількісних питань, підходи до збору даних повинні бути ретельно розглянуті. Більшість інструментів у поточному дослідженні використовують традиційні анкети для збору даних для оцінки, перевірки та оптимізації. Однак BIMCS характеризує свій автоматичний метод збору даних, коли клієнти повинні спочатку встановити на свої комп'ютери певне програмне забезпечення, яке також використовується для моделювання BIM, щоб автоматично витягувати інформацію з моделей BIM і надсилати дані до хмарної служби для виконання обчислень.

Перш ніж дані використовуватимуться для підрахунку балів, слід встановити сувору систему перевірки для перевірки надійності даних. Хоча ця система відсутня в різних інструментах, система показників VDC є типовим прикладом, який встановлює критерій під назвою «рівень достовірності», оцінює сім основних факторів, у тому числі такі показники, як повнота, загальна тривалість завершення, кількість залучених зацікавлених сторін, для кількісної оцінки надійності даних. і якісно. Зразки даних, нижчі за певний рівень достовірності, будуть виключені з подальших процесів. Створення цієї системи має вирішальне значення для отримання об'єктивних результатів вимірювання та розробки еталонних показників, враховуючи, що лише точні дані можуть правильно вказати ринкову ситуацію.

Деякі інструменти спрямовані лише на досягнення певного рівня зрілості BIM для надання сертифікатів, ігноруючи порівняння продуктивності та взаємне навчання користувачів. Наприклад, NBIMS CMM зосереджується на досягненні «мінімального BIM» замість того, щоб заохочувати користувачів керувати впровадженням BIM. Тому ці інструменти підходять для внутрішнього оцінювання, а не для систем

порівняльного аналізу.

Шість інструментів мають процедури порівняльного аналізу, які дозволяють користувачам порівнювати результати з іншими та розуміти їхню позицію зрілості BIM у галузі. IU BIM proficiency index вперше запропонував просту концепцію порівняльного аналізу, попросивши оцінювачів визначити ступінь, до якого користувач бере на себе лідерство в галузі кожної області вимірювання. Незважаючи на те, що BIM MM, BIMCS і BIM Owner's CAT розглядають процедури порівняльного аналізу як важливий захід, впровадження та ефективність цих систем залишаються незрозумілими через відсутність досліджень і практик. VDC Scorecard і BIM Quick Scan розпочали широкий і практичний збір даних порівняльного аналізу, щоб отримати концепції порівняльного аналізу в попередніх інструментах (перший зібрав 108 зразків, а другий – 130 сертифікованих сканувань). Однак система бенчмаркінгу зрілості BIM не визнана в усьому світі.

Методи валідації та оптимізації в майже половині з дев'яти інструментів представлені нечітко, що вказує на те, що надійність інструментів і постійні вдосконалення враховуються неадекватно. Крім того, існуючі методи валідації також є високоякісними. Наприклад, NBIMS CMM приймає суб'єктивні інтерв'ю з користувачами для перевірки. У результаті уточнюються лише ваги запитань і бали, які необхідні в цих інструментах для досягнення певних рівнів зрілості BIM, тоді як кількість і визначення запитань залишаються незмінними.

Нещодавно розроблені інструменти використовують численні статистичні методи для перевірки значущості та кореляції запитань. Якщо запитання сильно корелюють, їх можна об'єднати. Якщо показники погано пов'язані зі зрілістю, ці показники переглядаються повторно. За результатами тесту коригуються обидва запитання та відповідні ваги. Крім того, високоточні дані, зібрані за допомогою попередньо встановленого програмного забезпечення, дозволяють BIMCS проводити складні тести та подальшу реформу своєї класифікації.

3 ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

3.1 Інтеграція моделі BIM-зрілості: побудова траєкторії можливостей

Інтеграційна модель зрілості можливостей (Capability Maturity Model Integration, CMMI) спочатку був розроблений в Університеті Карнегі-Меллона. CMMI – це підхід до вдосконалення процесів, який забезпечує організації основними елементами ефективних процесів, що покращить їх продуктивність [32]. CMMI – це модель, яка поєднує три вихідні моделі: а модель зрілості можливостей програмного забезпечення, модель можливостей системної інженерії та модель зрілості можливостей інтегрованої розробки продукту. Основною метою моделі є оцінка та вдосконалення організаційних процесів у рамках розробки, експлуатації та підтримки інформаційних систем і програмних продуктів [33]. CMMI для розвитку включає п’ять рівнів зрілості: початковий, керований, визначений, кількісне управління та оптимізація [34]. Удосконалення процесу на основі CMMI включає визначення сильних і слабких сторін процесу організації та внесення змін до процесу, щоб перетворити слабкі сторони на сильні [32].

Для можливості застосування BIM-зрілості у реальних будівельних проектах слід ретельно розглянути три ключові аспекти: рівні зрілості, систему індексів та критерії оцінки. Рівні BIM-зрілості визначають доцільність, можливості та переваги будівельного проекту з використанням BIM за існуючих обмежень технології, програмного та апаратного забезпечення та різноманітних зовнішніх середовищ. Система індексів BIM визначає фактори, що впливають на рівень зрілості BIM. Критерії оцінки BIM визначають зрілий стан кожного індексу відповідно до фактичної інформації про будівельний проект.

Крок 1. Визначення рівнів BIM. Методологія, яка використовується для

створення інтегрованої моделі зрілості програми BIM, базується на існуючих моделях зрілості, таких як модель етапів зростання та CMMI, щоб встановити рівні зрілості BIM у поєднанні з характеристиками програми BIM.

Крок 2. У цьому дослідженні використовується систематичний огляд результатів дослідження з метою вибору індексу вимірювання зрілості застосування BIM. Правильність вибору напрямку вимірювання залежить від перспективи досліджуваної проблеми та особливостей досліджуваного предмета. Шляхом аналізу відповідних досліджень щодо зрілості BIM слід розглянути напрямок застосування BIM, а також враховуючи недоліки існуючих досліджень і характеристики застосування проекту, визначити фактори впливу на BIM. За допомогою інтерв'ю з експертами та практиками галузі, пов'язаними з BIM, остаточно визначено розміри та показники вимірювання BIM.

Крок 3. У поєднанні з класифікацією BIM та результатами експертних інтерв'ю описується значення кожного індексу вимірювання на різних рівнях, який використовується як стандарт оцінки BIM. Нарешті, фактичний проект використовується для перевірки ефективності BIM. За результатами оцінки BIM висуваються пропозиції щодо впровадження BIM.

Stages-of-Growth Model і CMMI описують модель стадії еволюції інформаційної системи, яка має важливе керівне значення для побудови інформаційної системи підприємства [35, 36]. BIM є продуктом поєднання нових IT-технологій і сучасної будівельної галузі. BIM також дотримується моделі етапів зростання Нолана щодо зрілості IT у застосуванні та майбутньому розвитку життєвого циклу проекту [37]. Тому для програми BIM доцільно розділити BIM-AMM на чотири рівні зрілості: нездійсненність, дискретність, інтеграція та зрілість.

Етап 1. Нездійсненність. На цьому етапі існує багато обмежувальних факторів, які перешкоджають застосуванню BIM. Наприклад, учасники могли лише чути про концепцію BIM, і ніхто ніколи не використовував інструменти BIM у реальних будівельних проектах. Якщо попередня оцінка

проекту показує, що проект знаходиться на першій стадії, це означає, що проект не має умов для застосування BIM.

Етап 2. Дискретність. На цьому етапі учасники проекту BIM використовують лише інструменти BIM, і всі учасники не використовують інструменти BIM в одній структурі впровадження BIM. Існують неузгодженості в процесі BIM і співпраці між дисциплінами, що призводить до більшої кількості надлишкових і неправильних даних.

Етап 3. Інтеграція. Процес реалізації проекту може бути інтегрований за допомогою різних інструментів BIM як основного засобу бізнесу. Усі учасники проекту можуть обмінюватися інформацією через програмне забезпечення та платформу BIM, реалізувати ефективну співпрацю та комунікацію, а також прискорити реалізацію проекту з точки зору якості та прогресу.

Етап 4. Зрілість. Згідно з повною структурою впровадження, проект має чіткий робочий процес впровадження BIM, який дає змогу реалізувати обслуговування та оновлення інформації в режимі реального часу; усі учасники добре розуміють BIM і можуть ефективно розподіляти обов’язки, пов’язані з BIM. У той же час можливості BIM усіх сторін можуть відповідати умовам реалізації проектів BIM і максимізувати цінність BIM.

Індексна система BIM-. Базуючись на існуючих результатах досліджень, пов’язаних із зрілістю BIM, у поєднанні з характеристиками інженерних проектів і передумовами, пов’язаними з впровадженням BIM, у цьому документі розглядаються моделі зрілості BIM, які широко використовуються в даний час, і виділено елементи вимірювання, пов’язані з застосуванням BIM. як еталон для побудови індексної системи BIM. Структура технологічної інформації, таку як потреби технологічної інфраструктури; мережеве середовище BIM; сумісність/підтримка IFC; Інформація про середовище застосування BIM, така як контракти, обов’язки, стандартизація, бізнес-керівництво; та організаційну інформацію, таку як управлінська підтримка, організаційні ролі, обізнаність про керівництво та

спосіб реалізації проекту. За наявності хороших стимулів і політики, таких як субсидії BIM, або згідно з обов'язковою політикою відповідних адміністративних департаментів, ймовірність того, що проект запровадить BIM, буде значно збільшена.

Таким чином, повністю враховуючи отриманий напрямок вимірювання зрілості, ця стаття ділить індекс зрілості на десять вимірів: програмне забезпечення, апаратне забезпечення, можливості мережі, закон, стандарт, політика, особисті здібності, досвід менеджера, рівень попиту власника та інвестиції та спосіб реалізації проекту з точки зору технологій, соціального середовища та учасників. Система індексів BIM наведена на рисунку 3.1.

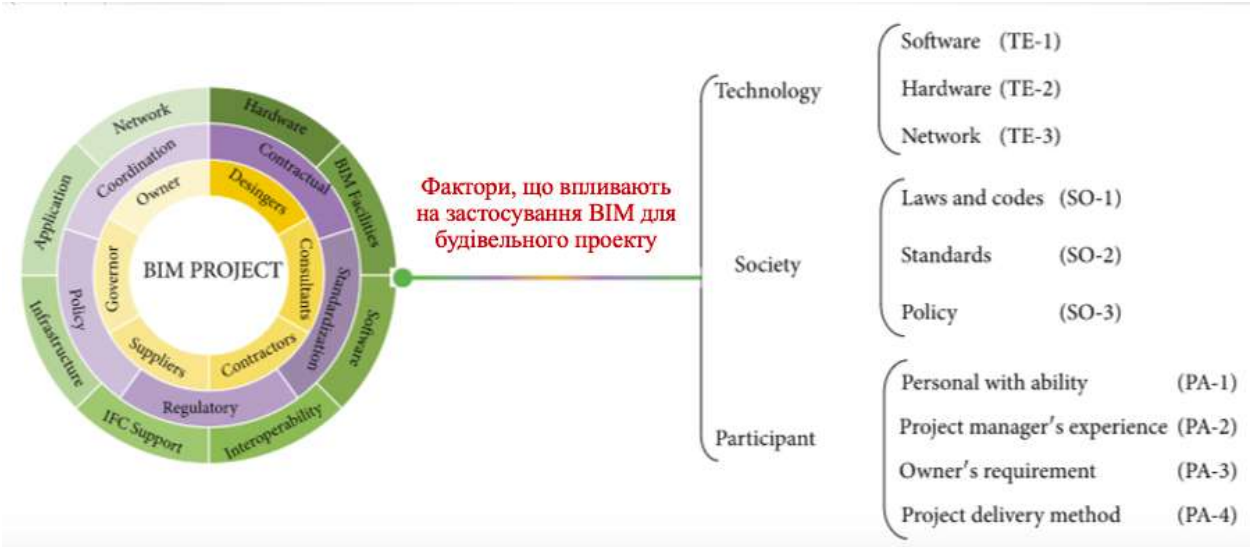

Рисунок 3.1 – Концептуальна модель оцінки індексу BIM-зрілості

Зрілість можливостей програмного забезпечення. Це включає ступінь, до якого різні вимоги на різних етапах усього життєвого циклу проекту можуть бути виконані, включаючи відображення зовнішнього вигляду на ранній стадії; проектування та конфлікти будівель, споруд і трубопроводів на стадії проектування; в управління вартістю, прогресом, безпекою та змінами на етапі будівництва; а також будівництво, збірне виробництво та обслуговування обладнання на стадії використання

Продуктивність обладнання. Це стосується роботи програмного забезпечення та швидкості обробки даних, як-от час на проектування та візуалізацію, чи може програмне забезпечення відповідати постійним змінам даних моделі та ємність зберігання даних

Можливості мережі. Це стосується можливості взаємозв'язку програми BIM, можливості співпраці між програмними продуктами, а також того, чи можуть учасники проекту обмінюватися даними та реалізовувати обмін інформацією.

Закони та правила. Досконала правова система може гарантувати основні права всіх сторін у проекті, включаючи розподіл обов'язків у застосуванні BIM, принцип розподілу доходу, створеного BIM, специфікації контракту для застосування BIM та творчий формат різних інформації.

Стандарти BIM. Це включає стандарти BIM та інші відповідні стандарти, такі як IFC. Дані, що базуються на одному стандарті, можуть забезпечити можливість інформаційної сумісності між учасниками.

Промислова політика та система управління. Йдеться про стимулюючі заходи та вимоги щодо стимулювання з боку держави, відділів управління галуззю та місцевих органів влади для проектів, які використовують технологію BIM. Хоча організація проекту BIM і сам проект не можуть безпосередньо покращити політику BIM, різні проекти стикаються з різними ситуаціями політики BIM для різних місць, що є необхідним аспектом вимірювання в BIM.

Існуючі BIM таланти підприємств-учасників проекту. Це стосується того, чи може кількість і здатність технічного персоналу BIM кожного учасника підтримувати прийняття технології BIM як основного засобу проекту

Досвід керівника проекту. Це стосується володіння BIM керівником проекту та відповідних вимог щодо накопичення досвіду проекту BIM власника/інвестора для BIM. Це стосується того, чи вимагає власник використання BIM, і його вимог щодо ступеня використання технології BIM

у проекті

Режим доставки. Це ступінь, до якого BIM може принести цінність режиму доставки проекту в конкретному середовищі та характеристиках проекту, а також адаптивність BIM до режиму управління проектом протягом усього життєвого циклу.

Критерії оцінки BIM. Критерії оцінки є найважливішим змістом BIM-AMM. Вони складаються з індексу зрілості та рівня зрілості та можуть бути представлені у вигляді таблиці. Це набір стандартів, які використовуються для детального вимірювання кожного рівня індексу в BIM. Детальний опис у кожному стандарті оцінки є результатом інтерв'ю з експертами в галузі, як показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка за критерієм «Technology»

Рівні BIM-зрілості	Software	Hardware	Network
1	2	3	4
I	Було використано лише кілька інструментів BIM, які не можуть задовольнити більш складні потреби учасників	Обладнання застаріле, а система відновлення відсутня.	Обмежений доступ до мережі.
II	Було застосовано багато потужних інструментів BIM для різних	Апаратне забезпечення може задовольнити загальні потреби	Мережа може задовольнити основні потреби інструментів BIM,

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
II	дисциплін, але рівень взаємодії незадовільний	інструментів BIM, і немає системи відновлення.	але не може передавати величезні дані.
III	Інтегровані інструменти BIM можуть задовольнити потреби більшості учасників і підтримувати більшу частину співпраці різних питань	Апаратне забезпечення може задовольнити більшість потреб інструментів BIM, і існує краща система відновлення.	Мережа є стабільною та має достатньо можливостей для співпраці та спілкування, але наданий стиль підключення обмежений.
IV	Інструменти BIM можуть задовольнити потреби будь-якого учасника та підтримувати повну співпрацю між різними дисциплінами	Апаратне забезпечення може ідеально задовольнити всі потреби інструментів BIM, має високу швидкість роботи, величезний обсяг пам’яті та чудову систему відновлення.	Мережа може задовольнити всі потреби інструментів BIM для співпраці та спілкування в реальному часі, а також забезпечується різноманітність стилів підключення.

Критерії оцінки є найважливішим змістом BIM. Вони складаються з

індексу зрілості та рівня зрілості та можуть бути представлені у вигляді таблиці. Це набір стандартів, які використовуються для детального вимірювання кожного рівня індексу в BIM. Детальний опис у кожному стандарті оцінки є результатом інтерв'ю з експертами в галузі, як показано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Оцінка за критерієм «Society»

Рівні BIM-зрілості	Laws and codes	Standards	Policy
1	2	3	4
I	Не було оприлюднено будь-які закони та кодекси, пов'язані з BIM.	Майже жодні стандарти не можуть бути використані на практиці.	Відсутня політика, яка б заохочувала застосування BIM.
II	Було оприлюднено лише деякі ключові закони та кодекси, пов'язані з BIM.	Існують деякі стандарти для застосування BIM, натомість більшість із них має недоліки.	Реалізуються деякі позитивні політики для того, щоб заохотити учасників використовувати BIM.
III	Було видано значну кількість законів і кодексів, пов'язаних з	Найбільш важливі стандарти створені та використовуються на практиці.	Можна отримати набагато більше переваг за рахунок вроваджених політик для

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
III	BIM.		застосування в BIM-проєктах.
IV	Високий рівень застосування законів та кодів для BIM-проєктів	Виявлено високий рівень застосування усіх види стандартів для BIM-проєктів	Усі будівельні проекти мають застосовувати BIM.

Процес застосування BIM-AMM. Перш ніж використовувати модель оцінки зрілості, перше, що потрібно переконатися, це те, що відповідні організації проекту можуть чітко зрозуміти значення кожного індексу зрілості, а результат оцінки кожного індексу є важливою основою для прийняття рішень і вдосконалення BIM. схема. Зазвичай для оцінки проекту обираються безпосередні учасники проекту, наприклад керівник проекту. Як оцінювач, оцінювач проводить організаційну самооцінку за показниками зрілості в моделі відповідно до власної фактичної ситуації та дає відповідну оцінку. На основі результатів оцінки всіх оцінювачів BIM-AMM використовується для оцінки BIM-зрілості проекту. Отримано зрілість BIM, прийнятого проектом на цьому етапі та в конкретній ситуації кожного індексу зрілості. Аналізується, чи можуть умови проекту підтримувати BIM на цьому етапі, і визначається розрив між BIM та ідеальним середовищем реалізації. За допомогою описаного вище процесу можна виявити слабкі сторони впровадження BIM. Завдяки розробці відповідного плану вдосконалення для покращення слабких сторін BIM і шляхом повторної оцінки зрілість впровадження BIM у проекті може бути переглянута, поки всі аспекти не відповідатимуть вимогам впровадження BIM. Процес застосування моделі зрілості показано на рисунку 3.2.

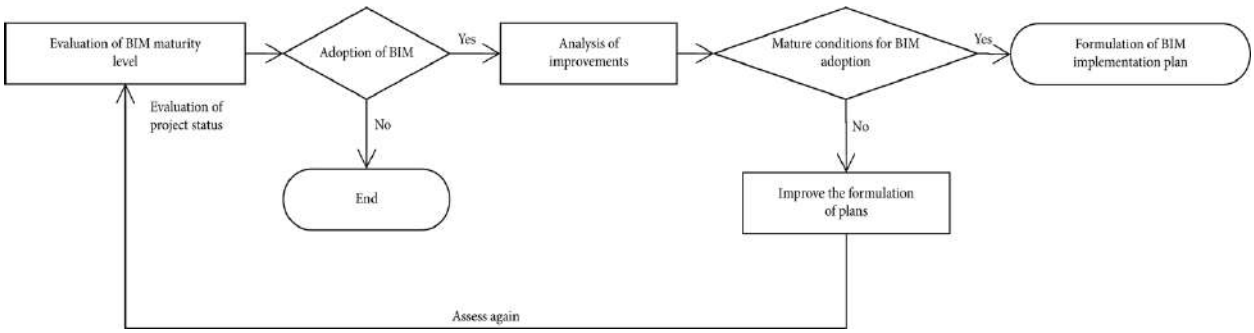

Рисунок 3.2 – Процес застосування моделі оцінки BIM-зрілості для розвитку

Кінцевим балом кожного індексу отримано середнє значення суми балів зрілості, а формула розрахунку наступна:

$$S_i = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} S_{ij}, \tag{3.1}$$

де N – загальна кількість експертів, який оцінював проєкт, S_{ij} – оцінка кожного експерта за різними показниками, S_i – кінцева оцінка кожного індексу, який представляє фактичний рівень зрілості кожного показника в BIM-зрілості.

Обравши програмне забезпечення для прикладу, п’ять співробітників проекту оцінили його з точки зору застосування BIM, і, нарешті, Si було розраховано згідно з формулою (3.1) і дорівнює 3,52. Таки результат вказує на те, що зрілість індексу перевищила рівень 3, але не досягли етапу 4. Аналогічним чином, враховуєтсья досвід керівника проекту як приклад, через критерії оцінки BIM, бал становить 1,2, що вказує на те, що зрілість індексу лише на етапі 1, дуже низькому рівні зрілість. Відповідно до критеріїв оцінки рівня зрілості та механізму оцінки, остаточні результати оцінки детальної інформації про проекту наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Приклад оцінки характеристик BIM-зрілості

Критерії BIM-зрілості	Інформація, пов’язана з проектом	S_{ij}					S_i
		1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8
Software	Проєкт включає: Autodesk Revit architecture, structure, MEP, and Navisworks. GrandSoft for cost.	3,2	3,6	3,8	3,6	3,4	3,52
Hardware	Усі учасники мають комп’ютери та ноутбуки, достатньо сучасні для використання інструментів BIM	2,8	3,2	3,4	3,2	3,2	3,20
Network	Учасники мають різноманітні стилі підключення для доступу до Інтернету, такі як FDDI, WiFi, але умови мережі на будівельному майданчику погані, а швидкість мережі низька.	2,8	3,2	3,0	3,0	2,4	2,96
Laws and codes	В Україні прийнято Закон про BIM-	2,0	2,0	2,6	2,4	2,6	2,24

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
	технології нещодавно (08.07.2022)						
Standards	Оскільки основні інструменти BIM походять із набору інструментів Autodesk, існують проблеми взаємодії між Revit та іншими типами програмного забезпечення..	2,4	2,6	2,4	2,6	2,0	2,40
Policy	Українські чиновники усвідомлюють важливість BIM, досі не було позитивної політики, яка б заохочувала використання BIM.	1,4	1,4	1,6	1,2	2,0	1,52
Personal with ability	Крім дизайнерів, ніхто раніше не використовував BIM у практичних проєктах.	2,2	2,0	2,0	1,8	2,0	2,00

Регіональна карта рівня оцінки індексу була складена відповідно до результатів оцінки кожного індексу зрілості (рисунок 3.3). Діаграма розподілу зрілості технології BIM, прийнятої в проекті, була отримана шляхом

з’єднання значень кожного індексу. На малюнку 6 наведено результати обчислень рівня зрілості кожного індексу проєкту. Чим ближче проєкт до центру, тим нижча зрілість індексу, і його потрібно покращувати на початковій основі.

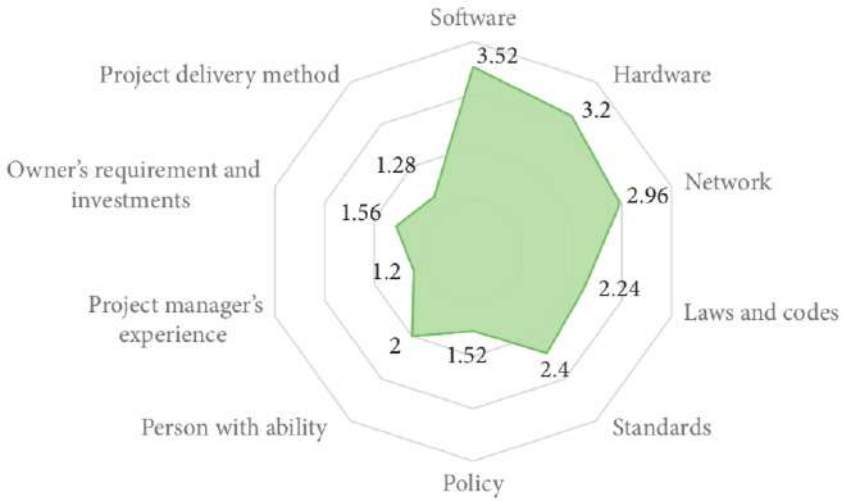

Рисунок 3.3 – Приклад профілограми оцінки BIM-зрілості

Якщо всі показники відповідають умовам реалізації BIM, проєкт може прийняти технологію BIM для досягнення високих переваг. Якщо є серйозні недоліки, навіть якщо інші аспекти мають умови впровадження, загальні переваги BIM можуть бути незначними або навіть призвести до інших несприятливих наслідків.

Програмне забезпечення будівельного проєкту також визначає рівень прийняття BIM інструментів. Все IT-технологій, які застосовуються в проєкті, можуть підтримувати застосування BIM технології. При цьому, зрілість технічних показників проєкту буде досягати третього рівня. Це також означа, що кожна організація проєкту має гарне електронне офісне обладнання і базове програмне забезпечення технології BIM, яке могло б в основному відповідати вимогам бізнес-процесів BIM. Водночас можуть виникати ситуації коли у деяких учасників проєкту мають не завжди стабільне мережеве середовище. Низька стабільність мережі може стати

причиною збою передачі даних та збільшення тривалості передачі файлів під час процесів оновлення та резервного копіювання даних моделі і зв’язку великих файлів.

3.2 Оцінка зрілості BIM-інструментів на різних програмних платформах

Зріла платформа BIM має забезпечувати, по-перше, відкритість, взаємодію та сумісність. Завдяки застосуванню спеціального програмного забезпечення можлива реалізація широкого діапазону обміну даними. Підтримка імпорту і експорту файлів IFC і можливість підтримувати COBie. BIM дозволяє керувати хмарним сховищем і пропонує розширений обмін моделями.

По-друге, програмне забезпечення має бути легким та зрозумілим для вивчення, а також доступним для використання.

По-третє, BIM-інструменти дозволяють надавати точну інформацію про модель. Коректні кількості розрахунки з BIM-моделі є вхідними даними для розробки каленарних графіків.

По-четверте, програмне забезпечення надає можливість працювати з плагінами стороннього програмного забезпечення.

По-п’яте, можливість розширеного моделювання життєвого циклу та енергоощадності. Країни, які приєднались до впровадження Цілей сталого розвитку, реалізують політики щодо зменшення викидів вуглецю. Інструменти BIM відіграють вирішальну роль у досягненні енергозбереження і використання альтернативних джерел енергії;

По-шосте, управління часом і виявлення перевантажень. Прогармні інструменти мають надавати можливість візуалізувати планування будівництва та взаємозв’зків, а також виявляти перевантаження, конфлікти до на стадії «плануваня» (до початку будівництва);

По-сьому, програмне забезпечення має працювати з моделлю та

зберігати дані про хід виконання робіт (віджеження) та надавати огляд очікуваним витратам на проєкт (метод освоєного обсягу).

Це сучасні критерії найкращого використання інформаційних моделей побудови. Однак вони відображають ідеальний стан, а не реальність. Більшість сучасних проектів реалізуються на рівні BIM 0, 1 або 2.

3.2.1 BIM в операційній системі Windows

Сьогодні це найпоширеніше сімейство операційних систем на ринку. Тому логічно, що більшість програм, пов’язаних з BIM, написані для цієї платформи. Це також еталон для всіх інших платформ. Існують програмні додатки, які охоплюють усі функції, згадані в попередніх розділах. У цьому документі не розглядаються подробиці всіх функцій згаданого програмного забезпечення. Додаткову інформацію про програми можна знайти за посиланнями.

Існує три основних інструменти для створення моделі. Autodesk Revit [38, 39], Graphisoft ArchiCAD [40], Nemetschek Allplan [41]. Є також інші інструменти для проектування, такі як Nemetschek Vectorworks [42], BricsCAD [43] і безкоштовний інструмент Edificius [44], про які варто згадати.

Існує доступний програмний інструмент для кожної категорії зазначеного рівня зрілості BIM. Сама таблиця – лише приблизний контур. Тут не перераховано всі інструменти BIM, які існують для платформи Windows. Це не є метою статті. Дослідження більше зосереджено на двох інших менших платформах, щоб з’ясувати, чи можуть вони конкурувати з точки зору функціональності та зручності використання.

3.2.2 BIM в операційних системах на базі Linux/Unix

Оскільки операційні системи на основі Unix/Linux ще більш рідкісні серед інженерів-будівельників та архітекторів, вибір інструментів BIM ще гірший, ніж на платформі MAC OSX. Єдиним інструментом, який можна вважати функціональним, є BricsCad [43] від компанії Bricsys. Нові інструменти для цієї платформи навряд чи будуть розроблені в одній компанії. Видається невигідним вкладати час і ресурси в додатки для платформи, яка займає лише 5% частки ринку. Майбутнє BIM на операційних системах на базі Unix можна очікувати від розробників спільноти чи університетів. Це випадок B-процесора [44]. Це програмне забезпечення розпочалося як університетський проект, розроблений Архуською школою архітектури у співпраці з інститутом Alexandra. На жаль, схоже, що в 2013 році розробка цього програмного забезпечення припинилася. Оскільки BricsCAD і B-processor написані на JAVA, вони не залежать від платформи. Це доводить, що вони не були розроблені для самої платформи Linux, але її сумісність визначається природою їхньої мови програмування.

Однак для державних організацій може бути цікаво розробити інструменти BIM для операційних систем на базі Unix/Linux. Наприклад, французька поліція і парламент перейшли на Linux ще в 2007 році. Повідомлялося, що вони заощадили понад 50 млн. € на ліцензійні збори між 2004 і 2008 роками. Для інструментів, що використовуються урядовими організаціями, важливо читати дані BIM. Системи, які можуть лише читати, порівняно менш складні для розробки. І державним службовцям може не знадобитися редагувати дані BIM. Може існувати законна потреба переглядати дані, і це функція, яку можуть надати більшість інструментів проміжного програмного забезпечення BIM.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Як і у випадку з традиційними фізичними моделями та кресленнями, оцінка ефективності будівлі на основі графічних зображень звичайних САПР або об’єктних САПР вимагає значного людського втручання та інтерпретації, що робить аналіз надто дорогим та/або трудомістким. Опитування, проведене Центром інтегрованого проектування об’єктів (CIFE) Стенфордського університету, стверджує, що економічні причини є однією з основних причин невпровадження процедур екологічного проектування та будівництва більшістю респондентів.

Інформаційна модель будівлі представляє будівлю як інтегровану базу даних скоординованої інформації. Окрім графічного зображення дизайну, більшість даних, необхідних для підтримки сталого дизайну, збираються природним шляхом у процесі розробки проекту. Крім того, інтеграція інформаційної моделі побудови з інструментами аналізу ефективності значно спрощує часто громіздкий і складний аналіз. Цей підхід дає архітекторам легкий доступ до інструментів, які забезпечують миттєвий зворотний зв’язок щодо альтернатив дизайну на ранніх етапах процесу проектування.

BIM може допомогти в наступних аспектах сталого проектування:

- орієнтація будівлі (для вибору найкращої орієнтації будівлі, що призводить до мінімальних витрат енергії);
- об’єм будівлі (для аналізу форми будівлі та оптимізації огороджувальних конструкцій будівлі);
- аналіз денного освітлення;
- збір води (для зменшення потреб у воді в будівлі);
- енергетичне моделювання (для зменшення потреб в енергії та аналізу варіантів відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія;
- стійкі матеріали (для зменшення потреб у матеріалах і використання перероблених матеріалів).

Для проектів, які потребують сертифікації LEED, багато кредитів LEED вимагають надання креслеників для підтвердження кваліфікації для отримання кредиту. Хоча більшість цих креслеників можна підготувати за допомогою звичайного програмного забезпечення САПР, програмне забезпечення BIM створює ці креслення більш ефективно як частину інформаційної моделі будівлі та має додаткову перевагу технології параметричних змін, яка координує зміни та підтримує послідовність у будь-який час. Таким чином, користувачеві не потрібно вручну оновлювати малюнки чи посилання. Подібним чином, такі моделі містять велику кількість інформації для багатьох інших аспектів екологічного дизайну та/або сертифікації LEED. Наприклад, графіки будівельних компонентів можна отримати безпосередньо з моделі, щоб визначити відсоток повторного використання матеріалу, переробки або утилізації. Крім того, передові методи візуалізації можуть переконати скептично налаштованих клієнтів у тому, що зелений дизайн працює добре та добре виглядає. Відповідно до Autodesk, за допомогою BIM можна отримати до 20 балів для сертифікації LEED.

Обґрунтування цієї оцінки полягає в тому, щоб оцінити придатність провідного програмного забезпечення для аналізу ефективності будівель для аналізу стійкості на основі BIM. Для цієї мети було обрано три типи програмного забезпечення: EcotectTM, Green Building StudioTM (GBS) і Virtual EnvironmentTM. Holder Construction Company (HCC) придбала це програмне забезпечення, і аналіз був виконаний їхнім підрозділом BIM. Для цієї мети був обраний проект будівлі університету (рисунок 4.1), який отримав сертифікат LEED Silver. BIM використовувався на ранній стадії проектування для визначення найкращої орієнтації будівлі, оцінки різних варіантів дизайну типу шкіри, таких як кам’яна кладка, навісні стіни та стилі вікон, проведення аналізу енергії та денного освітлення та створення звіту про кваліфікацію денного освітлення LEED.

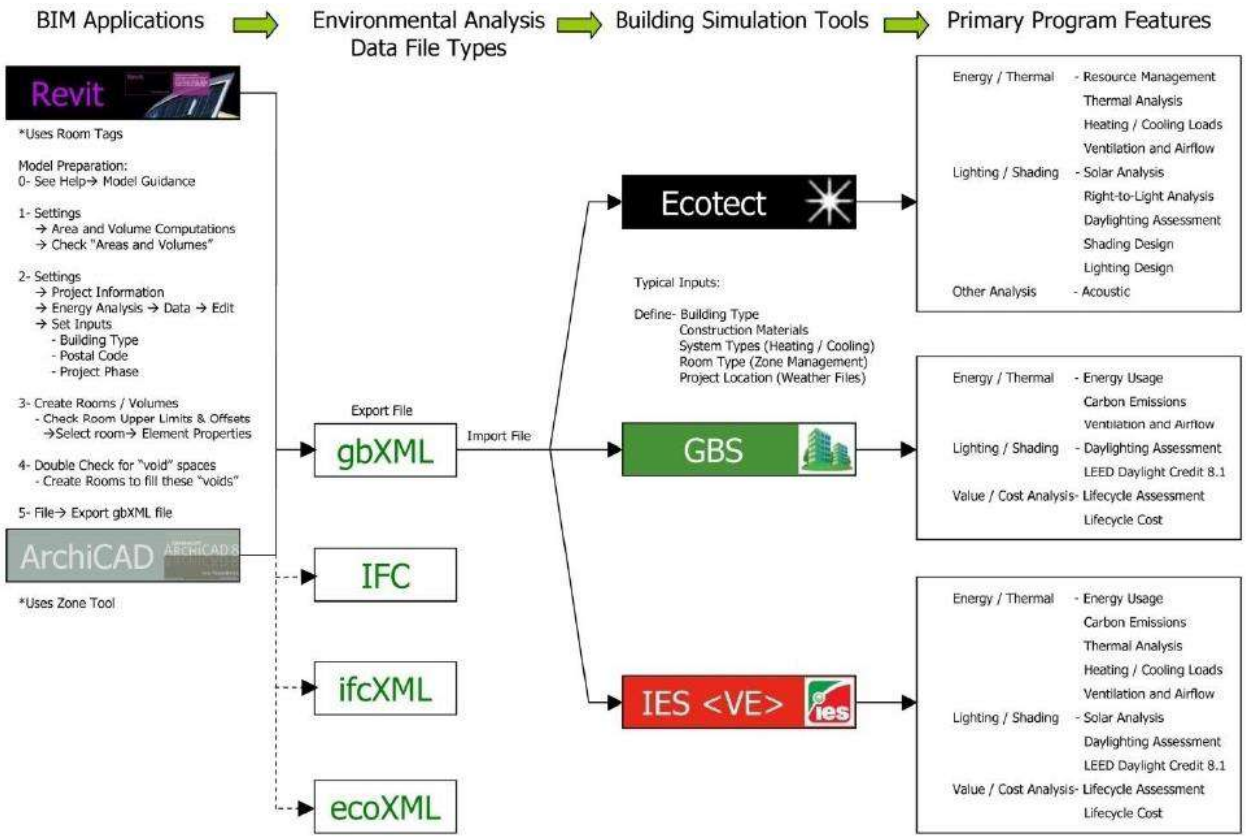

Рисунок 4.1 – Інтеграція BIM і програмного забезпечення для аналізу екологічної ефективності будівлі

EcotectTM, що належить Autodesk, Inc., є «повним інструментом для проектування будівель та аналізу навколишнього середовища, який охоплює повний спектр функцій моделювання та аналізу, необхідних для справжнього розуміння того, як проект будівлі працюватиме та працюватиме» (Autodesk, 2008). Основні можливості аналізу програми включають аналіз енергії, теплового аналізу та аналіз освітлення/затінення. Функції енергетичного та теплового аналізу враховують такі фактори, як управління ресурсами, навантаження на опалення та охолодження, а також вентиляція та потік повітря. Інструменти аналізу освітлення/затінення дозволяють аналізувати сонце, аналіз прямого світла, оцінку денного освітлення, дизайн затінення та дизайн освітлення. EcotectTM також дозволяє проводити інші оцінки будівельних об’єктів, наприклад акустичний аналіз. На рисунку 4.2 наведено результати аналізу ефективності створення Emory Psychology за допомогою

EcotectTM із його «плюсами» та «мінусами».

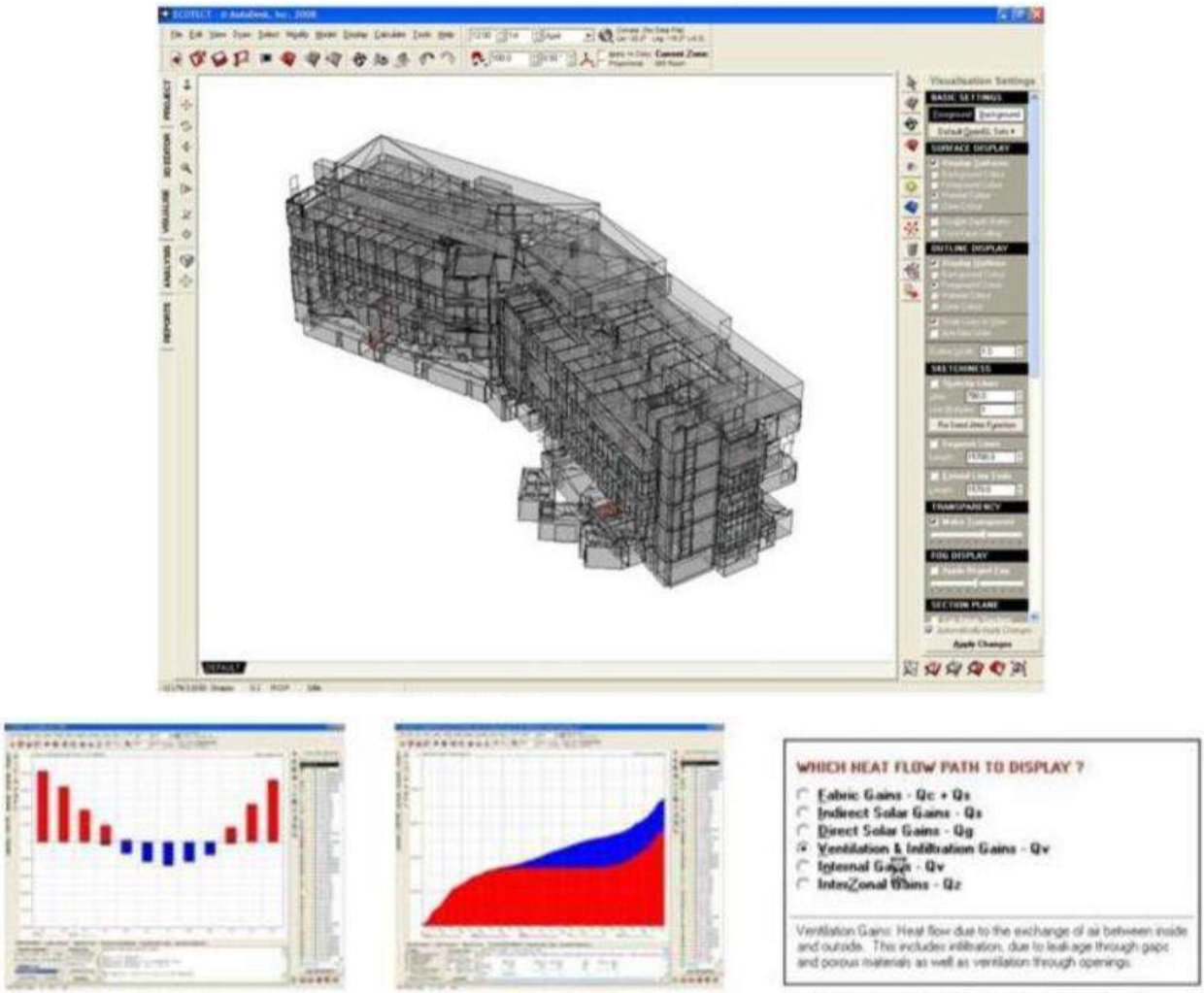

Рисунок 4.2 – EcotectTM «Плюси» та «Мінуси»

Green Building Studio, також належить Autodesk Inc., є веб-службою аналізу енергії, яка дозволяє користувачам оцінювати вплив на навколишнє середовище окремих компонентів будівлі на ранніх етапах процесу проектування. Основні можливості аналізу програмного забезпечення включають аналіз енергії та тепла, аналіз освітлення та затінення, а також аналіз вартості/вартості. Енергетичний/термічний аналізи оцінюють споживання енергії, викиди вуглекислого газу, а також вентиляцію та потік повітря. Аналіз освітлення та затінення оцінює денне освітлення та включає функцію LEED Daylight Credit 8.1. Значення і функції витрат визначають

оцінки життєвого циклу та витрати життєвого циклу. На рисунку 4.3 продемонстровано результати аналізу ефективності побудови Emory Psychology за допомогою GBSTM із його «плюсами» та «мінусами».

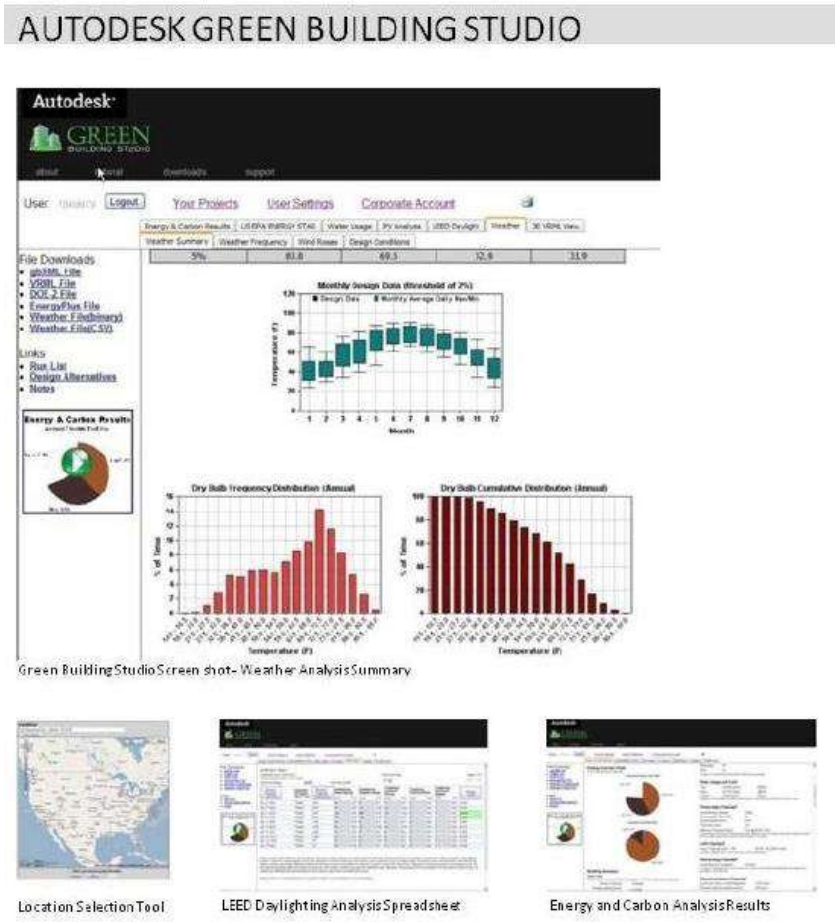

Рисунок 4.3 – Green Building Studio «Плюси» та «Мінуси»

Програмне забезпечення Virtual Environment™ від Integrated Environmental Solutions — це набір інтегрованих інструментів аналізу ефективності будівлі. Ці інструменти забезпечують аналіз таких питань, як сонячна енергія, освітлення, енергія, витрати, вихід та багато інших. Енергетичні/теплові функції включають споживання енергії, викиди вуглецю, тепловий аналіз, оцінку навантаження на опалення/охолодження та оцінку вентиляції/повітряного потоку. Функції освітлення/затінення включають аналіз сонця, оцінку денного освітлення та можливості LEED®

Daylight Credit 8.1. Функції аналізу вартості/вартості включають оцінку життєвого циклу та вартість життєвого циклу. Рисунок 4.4 ілюструє результати аналізу ефективності побудови Emory Psychology за допомогою VETM з його «плюсами» та «мінусами».

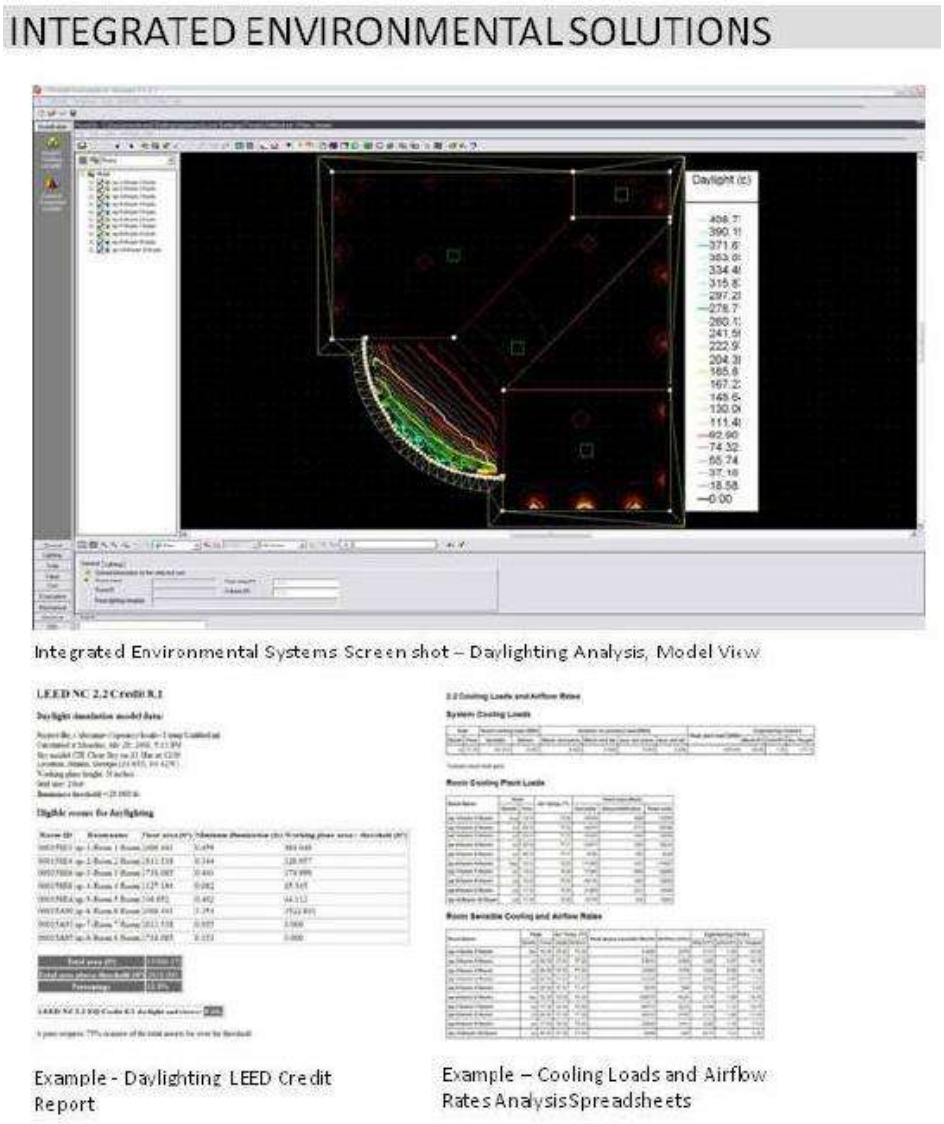

Рисунок 4.4 – Virtual Environment «Плюси» та «Мінуси»

Для того, щоб оцінити продуктивність цього програмного забезпечення для різних типів аналізу стійкості та вибрати найкраще програмне забезпечення, було проведено аналітичний аналіз. Було підготовлено контрольний список різних характеристик сталості (щодо рейтингу LEED®). Кожній функції було присвоєно ваговий коефіцієнт, який представляє її

важливість у межах заданих функцій. Ці вагові коефіцієнти були суб'єктивно визначені групою експертів з BIM та LEED® у Holder Construction Company на основі їх досвіду. Після цього та сама команда оцінила ці функції в кожному програмному забезпеченні та поставила їм рейтинговий бал від 1 до 10. Потім загальний зважений бал розраховувався таким чином:

$$\textit{Загальна зважена оцінка} = \Sigma\ (\textit{рейтингова оцінка для кожної функції}) \times (\textit{Ваговий коефіцієнт цієї функції}) \quad (4.1)$$

Virtual EnvironmentTM від IES отримало максимальний бал і, отже, може вважатися найкращим програмним забезпеченням для аналізу стійкості на основі BIM (рисунок 4.5).

Sustainable Design Features	Weighting (1-10)	Ecotect™	GBS™	VE™
Energy	6			
Energy Usage		1	3	3
Carbon Emissions Calculations		3	3	3
Resource Management		3	1	0
Total Score		**7**	**7**	**6**
Thermal	7			
Thermal Analysis		3	1	3
Heating / Cooling Load Calcs		3	1	3
Ventilation and Airflow		3	3	3
Total Score		**9**	**5**	**9**
Solar				
Solar Analysis	2	3	1	3
Right-to-Light		3	1	1
Total Score		**6**	**2**	**4**
Lighting and Daylighting	3			
Daylighting Assessment		3	1	3
Shading Design		3	1	1
Lighting Design		3	1	1
Total Score		**9**	**3**	**5**
Acoustic	2			
Acoustic Analysis		3	0	1
Total Score		**3**	**0**	**1**
Value and Cost	8			
Lifecycle Assessment		0	3	3
Lifecycle Cost		0	1	3
Total Score		**0**	**4**	**6**
LEED	8			
LEED Integration Tools		0	1	1
Total Score		**0**	**1**	**1**
Total Weighted Score		**150**	**130**	**180**

Рисунок 4.5 – Матриця оцінки програмного забезпечення для аналізу продуктивності

BIM може сприяти дуже складним процесам екологічного проектування, таким як денне освітлення та доступ до сонячної енергії, а також автоматизувати важку діяльність, наприклад забір матеріалів, оцінку вартості та графіки будівництва, одночасно збираючи та координуючи інформацію в єдину інтегровану модель. На основі оцінки трьох програмного забезпечення для аналізу ефективності будівель було виявлено, що програмне забезпечення Virtual Environment™ від Integrated Environmental Solutions є одночасно найбільш універсальним і потужним з точки зору можливостей аналізу. EcotectTM, хоч і сильніший за Green Building StudioTM у численних категоріях, включаючи теплове, сонячне та освітлення та денне освітлення, очевидно, є найменш універсальним із трьох. Це пов'язано з відсутністю можливостей оцінки вартості та вартості та LEED®, обидва вагомі елементи в нашому аналізі. Green Building StudiosTM від Autodesk отримала найнижчу загальну оцінку. Проте, здається, це більш універсальна програма, ніж EcotectTM, їй бракує лише акустичних можливостей. Результати, отримані за допомогою трьох програм (а саме EcotectTM, IES-VETM та GBSTM), не були безпосередньо підтверджені програмним забезпеченням DOE Energy PlusTM. Однак одне з цих програм, GBSTM, базується на механізмі DOE-2.

ВИСНОВКИ

Досліджено сучасні програмні рішення, BIM-інструменти та особливості їх реалізації протягом життєвого циклу будівельного проєкту. Окреслено специфіку систематизації баз даних і підходи до систем найменування інформаційних контейнерів (файлів).

Порівняння функціональних BIM-інструментів в різних операційних (Windows, Linux, Mac OS X) дозволило встановити, що для Window написана більшість програмного забезпечення і Windows забезпечує найвищий рівень BIM-зрілості.

Удосконалено методику оцінювання BIM-зрілості системи управління будівництвом на основі результатів оцінювання якості найважливіших стратегічних будівельних проєктів і програм, орієнтованих на сталий розвиток, за групами критеріїв «Technology», «Society» і «Participant».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors / C. Eastman et al. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2011. 640 p.

2. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. Automation in Construction. 2014. Vol. 38. P. 109–127. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023 (date of access: 26.02.2023).

3. Penttilä H, Rajala M, Freese S. Building Information modelling of modern historic buildings. In: Proceedings of the predicting the future, 25th eCAADe konferansı, Frankfurt am Main, Germany; 2007. p. 607-613.

4. Succar B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction. 2009. Vol. 18, no. 3. P. 357–375. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003 (date of access: 26.02.2023).

5. Guzmán Garcia E., Zhu Z. Interoperability from building design to building energy modeling. Journal of Building Engineering. 2015. Vol. 1. P. 33–41. URL: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.03.001 (date of access: 26.02.2023).

6. Rebryna P., & Nesterenko I. (2019). Bim-technologies in Ukraine. Ways to Improve Construction Efficiency, 2(39), 196–200. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.39.196-200

7. Building Information Modeling for Housing Renovation - Example for Ukraine / N. Siniak et al. Real Estate Management and Valuation. 2019. Vol. 27, no. 2. P. 97–107. URL: https://doi.org/10.2478/remav-2019-0018 (date of access: 26.02.2023).

8. Miettinen R., Paavola S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. Automation in Construction. 2014. Vol. 43. P. 84–91. URL:

https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009 (date of access: 26.02.2023).

9. Trach R., Pawluk K., Lendo-Siwicka M. The assessment of the effect of BIM and IPD on construction projects in Ukraine. International Journal of Construction Management. 2020. P. 1–8. URL: https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1742636 (date of access: 26.02.2023).

10. Фесенко Т. Г. Управління проєктами інтегрованого розвитку міста із використанням BIM технологій / Т. Г. Фесенко // Просторове планування: містопланування, архітектура, політичні та соціокультурні засади. Зб. наук. пр. Вип. ІІ. В 2-х ч. Київ-Тернопіль : КНУБА, «Бескиди», 2021. Частина 2. – С. 13–17.

11. BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia / Y. Y. Al-Ashmori et al. Ain Shams Engineering Journal. 2020. Vol. 11, no. 4. P. 1013–1019. URL: https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.002 (date of access: 26.02.2023).

12. Doumbouya L., Gao G., Guan G. Adoption of the Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Effectiveness: The Review of BIM Benefits. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 2016, Vol. 4, no. 3, P. 74-79. URL: http://article.civilengineeringarchitecture.com/pdf/AJCEA-4-3-1.pdf (date of access: 26.02.2023).

13. The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation / D. Migilinskas et al. Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 767–774. URL: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097 (date of access: 26.02.2023).

14. Doumbouya L., Gao G., Guan G. Adoption of the Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Effectiveness: The Review of BIM Benefits. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 2016, Vol. 4, no. 3, P. 74-79. URL: http://article.civilengineeringarchitecture.com/pdf/AJCEA-4-3-1.pdf (date of access: 26.02.2023).

15. The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation / D. Migilinskas et al. Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 767–774. URL: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097 (date of access: 26.02.2023).

16. Quantitative analysis of warnings in building information modeling (BIM) / H. W. Lee et al. Automation in Construction. 2015. Vol. 51. P. 23–31. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.12.007 (date of access: 26.02.2023).

17. Nawari N. O. BIM Standard in Off-Site Construction. Journal of Architectural Engineering. 2012. Vol. 18, no. 2. P. 107–113. URL: https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000056 (date of access: 26.02.2023).

18. Johansson M., Roupé M., Bosch-Sijtsema P. Real-time visualization of building information models (BIM). Automation in Construction. 2015. Vol. 54. P. 69–82. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.018 (date of access: 26.02.2023).

19. Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges / A. Ghaffarianhoseini et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 75. P. 1046–1053. URL: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083 (date of access: 26.02.2023).

20. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management / B. Becerik-Gerber et al. Journal of Construction Engineering and Management. 2012. Vol. 138, no. 3. P. 431–442. URL: https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000433 (date of access: 26.02.2023).

21. Hardi, Jennifer & pittard,. If BIM is the solution, what is the problem? A review of the benefits, challenges and key drivers in BIM implementation within the UK construction industry. Building Survey, Appraisal and Valuation. 2015. 3. 366-373.

22. Solihin W., Eastman C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. Automation in Construction. 2015. Vol. 53. P. 69–82. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.003 (date of access: 05.03.2023).

23. Chien K.-F., Wu Z.-H., Huang S.-C. Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study. Automation in Construction. 2014. Vol. 45. P. 1–15. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.012 (date of access: 05.03.2023).

24. Giel, B. (2014). MINIMUM BIM, 2nd Edition proposed revision

NBIMS v3. Retrieved from: http://www.instantdownloaderpro.com.

25. CIC. (2012). BIM Planning Guide for Facility Owners Pennsylvania State University: University Park, PA. Retrieved from: http://bim.psu.edu.

26. Succar, B. (2009). Building information modelling maturity matrix. Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies, IGI Global, 65-103.

27. Succar, B. (2010). The five components of BIM performance measurement, Proceedings of CIB World Congress, Salford, United Kingdom.

28. Giel, B., & Issa, R. R. (2013). Synthesis of existing BIM maturity toolsets to evaluate building owners, Computing in civil engineering, 451-458.

29. Sebastian, R., & van Berlo, L. (2010). Tool for benchmarking BIM performance of design, engineering and construction firms in the Netherlands, Architectural Engineering and Design Management, 6(4), 254-263.

30. Gao, J. (2011). A Characterization Framework to Document and Compare BIM Implementations on Construction Projects, Doctoral dissertation, Stanford University.

31. Kam, C., Senaratna, D., McKinney, B., Xiao, Y., & Song, M. (2013). The VDC scorecard: Formulation and validation, Center for Integrated Facility Engineering: Stanford University.

32. CMMI Product Team, Capability Maturity Model Integration (CMMI) Version 1.2 Overview, Software Engineering Insti- tute, Los Angles, CA, USA, 2007.

33. J. David Pato´n-Romero, M. T. Baldassarre, M. Rodr´ıguez, and M. Piattini, “Maturity model based on CMMI for governance and management of Green IT,” IET Software, vol. 13, no. 6, pp. 555–563, 2019.

34. CMMI Product Team, CMMI for Services, Version 1.3, Soft- ware Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, 2010.

35. D. Tilson, K. Lyytinen, and C. Sørensen, “Research com- mentary-digital infrastructures: the missing IS research agenda,” Information Systems Research, vol. 21, no. 4, pp. 748–759, 2010.

36. P. Wang, S. Ge, N. Wang, Y. Pan, and N. Ren, “MIS 4.0 research for industrie 4.0,” Computer Integrated Manufacturing Systems, vol. 22, no. 07, pp. 1812–1820, 2016.

37. J. Holmstro¨m, V. Singh, and K. Fra¨mling, “BIM as infra- structure in a Finnish HVAC actor network: enabling adoption, reuse, and recombination over a building life cycle and between projects,” Journal of Management in Engineering, vol. 31, no. 1, Article ID A4014006, 2015.

38. Autodesk.eu. (2016). Buy Revit | Building Design Software | Autodesk Store. [online] Available at: http://www.autodesk.eu/store/products/revit?term=1year&support=basic.

39. Bibliography: Inc, A. (2016) FOLLOW AUTODESK. Available at: https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products

40. Graphisoft.com. (2016). About ARCHICAD — A 3D architectural BIM software for design & modeling. [online] Available at: http://www.graphisoft.com/archicad/.

41. Allplan.com. (2016). Allplan - BIM - CAD - BCM - FM Software. [online] Available at: https://www.allplan.com/en.html.

42. Vectorworks.net. (2016). Vectorworks, Inc.. [online] Available at: http://www.vectorworks.net/ .

43. Bricsys.com. (2016). BricsCAD BIM: From sketch, to BIM, to detail. [online] Available at: https://www.bricsys.com/en_EU/bim/ .

44. Accasoftware.com. (2016). Free BIM Software for 3D Architectural Design - ACCA software. [online] Available at: http://www.accasoftware.com/en/id4/bim-software-3d-architectural-design.html.