

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи



Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра електронних обчислювальних машин

Кваліфікаційна робота

МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА МОНІТОРИНГУ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНОЇ КОМПАНІЇ

Виконавець: **Фесенко Т.Г.**

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
гр. СПзм-21-1

Науковий керівник: **Федорченко В.М.** к.т.н., доц.

2023

Відображення інтеграції ЦСР у стандарти ISO для сталорієнтованого будівництва

| Sustainable Development Goals (SDGs) | ISO/TR 15392 | ISO 21929-1 | ISO/TR 21932 |
|---|--------------|-------------|--------------|
| Goal 1: No poverty (End poverty in all its forms everywhere) | - | - | - |
| Goal 2: Zero hunger (End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture) | - | - | - |
| Goal 3: Good health and well-being (Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages) | X | X | X |
| Goal 4: Quality education (Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all) | X | X | X |
| Goal 5: Gender equality (Achieve gender equality and empower all women and girls) | X | X | X |
| Goal 6: Clean water and sanitation (Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all) | X | X | X |
| Goal 7: Affordable and clean energy (Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all) | X | X | X |
| Goal 8: Decent work and economic growth (Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all) | X | X | X |
| Goal 9: Industry, innovation and infrastructure (Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation) | X | X | X |
| Goal 10: Reduced inequalities (Reduce inequality within and among countries) | X | X | X |
| Goal 11: Sustainable cities and communities (Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable); | X | X | X |
| Goal 12: Responsible consumption and production (Ensure sustainable consumption and production patterns) | X | X | X |
| Goal 13: Climate action (Take urgent action to combat climate change and its impacts) | X | X | X |
| Goal 14: Life below water (Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development); | X | X | X |
| Goal 15: Life on land (Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss). | X | X | X |
| Goal 16: Peace, justice and strong institutions (Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels) | - | - | - |
| Goal 17: Partnerships for the goals (Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development) | - | - | - |

Методологічні основи дослідження

ОБ'ЄКТ дослідження – процеси сталорієнтованого управління будівельною компанією.

ПРЕДМЕТ дослідження – моделі, методи, алгоритми для оцінки та моніторингу сталості підрядних, девелоперських компаній будівельної галузі

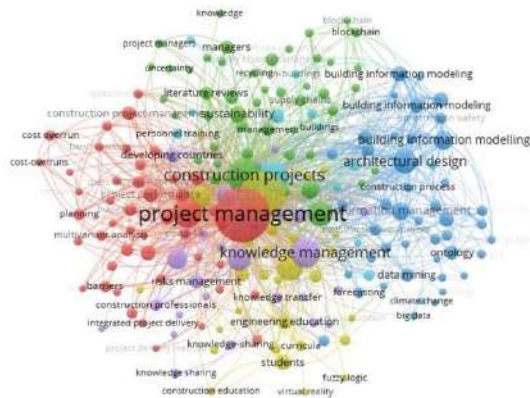
МЕТА дослідження – розробка теоретико-методичних та інформаційно-технічних рішень з підвищення ефективності моніторингу та оцінки параметрів сталого розвитку будівельної компанії

ЗАВДАННЯ дослідження:

- ✓ проаналізувати сучасні IT-інструменти, підходи, рішення, які застосовуються для моніторингу і оцінки соціальної відповідальності та сталорієнтованості системи управління виробничою компанією;
- ✓ визначити моделі, методи, інструменти, системи знань для управління проектами сталого будівництва;
- ✓ дослідити структуру бізнес-процесів будівельного проекту, параметри та індекси сталості результатів в галузі будівництва;
- ✓ розробити базові математичні моделі кількісної оцінки сталості управління будівельним проектом в процесах ініціації та планування на методологічній платформі проєктного менеджменту PMBOK Construction та GPM P5;
- ✓ запропонувати комплекс рішень для автоматизованої оцінки та моніторингу сталості будівельної компанії, модуля комп'ютерної програми «Sustainability Assessment».

> 4

БІБЛОГРАФІЧНА КАРТА «СУЧАСНІ ЗНАННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЄКТАМИ»



> 5

Перспективи впровадження ERP-системи, орієнтованої на сталий розвиток



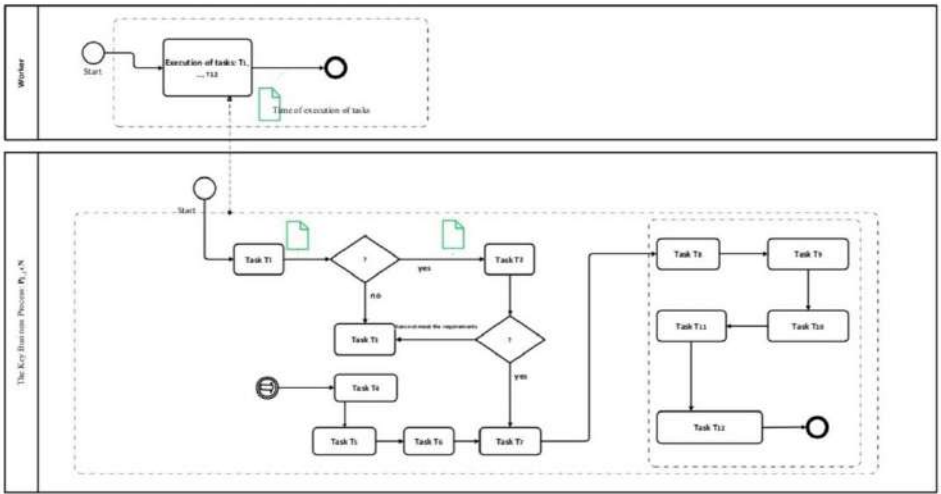
Інтеграційний підхід до оцінки стійкості ERP-системи



Інтеграційний підхід до оцінки стійкості в ERP (продовження)

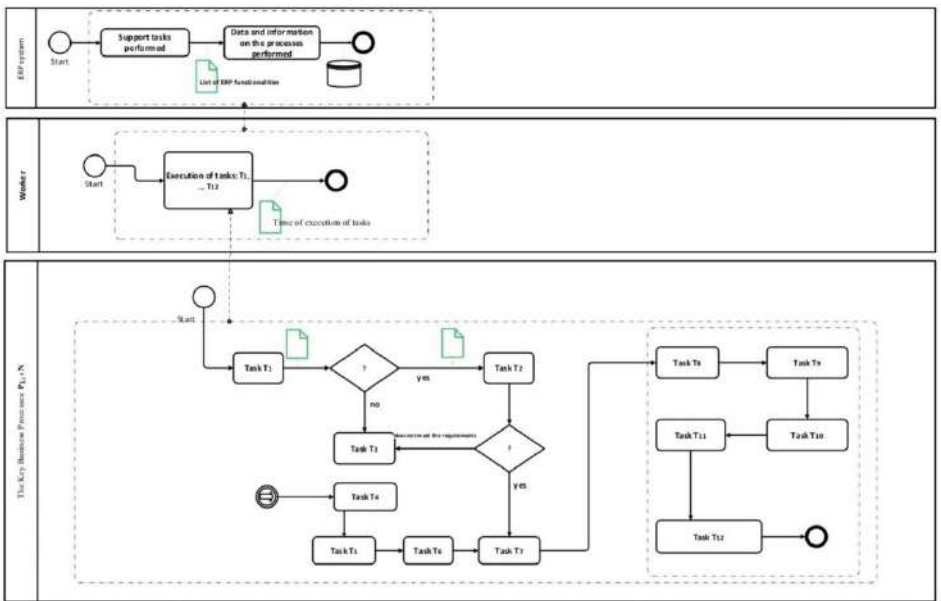


Крок 2. Визначення ключових бізнес-процесів (КВР) для кожного відділу компанії:
 $KBP_j = \{ KBP_1, KBP_2, \dots, KBP_j \}, j \in N$ із використанням нотації BPMN



> 9

Крок 3. Визначення функціональності ERP системи відповідно до бізнес-процесів:
 $KBP'_j, P'_j = \{ KBP'_1, KBP'_2, \dots, KBP'_j \}, j \in N$



> 10

Критерії та індикатори сталого виробництва

| Економічний: DP _e , e ∈ N | |
|---|--|
| Зниження собівартості продукції | DP _{e1} – витрати на виробництво $DP_{e1} = C_m + C_{pe} + C_i + C_t; m, pe, i, t \in N$ C _m – добові витрати на використання матеріалів; C _{pe} – добові витрати за роботу працівників; C _i – щоденні витрати, пов'язані з використанням машин і механізмів; C _t – щоденні витрати, пов'язані з використанням інструменту та обладнання |
| Зниження витрат на логістику | DP _{e2} – логістичні витрати $DP_{e2} = C_{il} + C_{el}; il, el \in N$ C _{il} – щоденні витрати внутрішньої логістики; C _{el} – добові витрати зовнішньої логістики |
| Підвищення продуктивності всередині організації | DP _{e3} – сумарна продуктивність $DP_{e3} = \frac{RTP}{TR}$ RTP – коефіцієнт загального обсягу виробництва (місячний) TR – загальна кількість ресурсів, що використовуються у виробництві (щомісяця) |
| Підвищення рентабельності всередині організації | DP _{e4} – ROA – рентабельність активів DP _{e5} – ROE – рентабельність власного капіталу |
| Пунктуальні поставки | DP _{e6} – щоденна кількість затриманих поставок |
| Прибуток | DP _{e7} – значення прибутку (щомісяця) |
| Інвестиції | DP _{e8} – ROI – повернення інвестицій |
| Збільшення продажів | DP _{e9} – ROS – рентабельність продажів |
| Збільшення інновацій | DP _{e10} – кількість нових продуктів (щорічно) |

| Екологічний DP _n , n ∈ N | |
|---|--|
| Мінімізація використання води | DP _{n1} – споживання води (щомісяця) |
| Мінімізація використання енергії | DP _{n2} – споживання енергії (щомісяця) |
| Зменшення забруднення повітря | DP _{n3} – викиди парникових газів (щомісяця) |
| Зменшення частоти екологічних аварій | DP _{n4} – кількість екологічних аварій (за місяць) |
| Мінімізація використання токсичні матеріали | DP _{n5} – аналіз токсичності використаних матеріалів (щомісячно) |
| Соціальні DP _s , s ∈ N | |
| Покращення прав працівників і мінімізація дискримінація | DP _{s1} – обсяг навчання по відношенню до усвідомлення стійкості |
| Підвищення економічної ефективності відносин з постачальниками | DP _{s2} – середнь-оденна оплата (в місяць) |
| Підвищення як професійних знань і компетентності співробітників, так і їх залучення | DP _{s3} – кількість спеціального навчання (щомісяця) |
| Захист особистого здоров'я | DP _{s4} – кількість програм, пов'язаних з охороною здоров'я працівників |
| Забезпечення соціальної справедливості | DP _{s5} – кількість програм, пов'язаних з медичним страхуванням для працівників |
| Підвищення рівня задоволеності працівників | DP _{s6} – кількість скарг від клієнтів |

Показники для оцінки та моніторингу досягнення ЦСР в будівельній компанії

| Продукт розробки | |
|--|---|
| Задоволеність клієнтів і співробітників | Задоволеність клієнтів Утримання клієнтів Задоволеність і безпека співробітників: – розвиток кар'єри та навчання – винагорода за працездатнування – швидкість платності – здоров'я та техніки безпеки |
| Гідні умови праці, безпека на робочому місці | Діапазон переваг для працівників Інциденти безпеки (інциденти з охороною праці) |
| Економічне виробництво з соціальною та творчою точки зору | Вартість продукту порівняно з аналогічними продуктами. Ціна постачальника/рівноважна ціна |
| Турбота про організацію, імідж бренду | Виконання робіт, введення об'єкту в експлуатацію в планові терміни. Кількість скарг і розірвання угод. |
| Безпечне виробництво | Години навчання з техніки безпеки на одного працівника Виконання будівельно-монтажних робіт (у т.ч. висотних робіт) |
| Збільшення благ для суспільства без шкоди для майбутніх поколінь | Управління ризиками, пов'язаних зі зміною кліматом і обмеженням доступу до невідновлювальних джерел енергії |

| Виробничі процеси | |
|---|--|
| Знижене енергоспоживання | Споживання енергії |
| Зменшення забруднення навколишнього середовища | Загальні викиди в повітря під час виробництва (виконання будівельно-монтажних робіт) |
| | Загальні викиди в повітря постачальників, субпідрядників Загальні викиди під час експлуатації об'єкту |
| Покращена якість процесу | Загальна ефективність обладнання, виробничої технології |
| Знижена матеріаломісткість у технологічних процесах виконання БМР | Продуктивність ресурсів, ощадливе використання |
| Економічне виробництво | Дохід організації (експлуатаційні витрати, вартість матеріалів, накладні витрати, вартість запасів та інші витрати) |
| Збільшення інновацій | Технологічний прогрес |
| Переробка, зменшення кількості утворених відходів | Рівень переробки відходів, застосування технологій повторного використання будівельних матеріалів |
| Довговічність виробництва (виробничих потужностей компанії) | |
| Висока якість продукції | |
| Запобігання простою | Кількість дефектних продуктів час простою |
| Матеріали замкненого циклу | |
| Підвищена надійність продукту | Повторне використання відходів |
| Ремонтпридатність/обслуговування | Частота відмов продукту (усунення дефектів під час експлуатації об'єкту, у тому числі протягом гарантійного періоду) |
| Ремонтпридатність/обслуговування | Швидкість ремонту продукту |

Архітектура програмної системи «Sustainability Assessment»



> 13

Вікно для реєстрації даних організації з логіном і паролем

Вікно для реєстрації нової організації

Вікно з визначенням засобів активації, критеріїв, атрибутів

Вікно генерації значень FSI та FPII

> 14

Модель кількісної оцінки сталості управління будівельним проектом в процесах ініціації та планування

- ▶ часткова модель збалансованої оцінки по усім областям знань управління будівельним проектом для кожного процесу

$$VB_j = \lambda_1 S_{j1} + \lambda_2 S_{j2} + \dots + \lambda_n S_{jn} + \varepsilon_j, \quad j = \overline{1, m}$$

- ▶ часткова модель збалансованої по усім процесам управління будівельними проектом на фазі «Ініціація» і «Планування» для кожної категорії (субкатегорії) сталого розвитку

$$VB_{ij} = \mu_1 S_{ij1} + \mu_2 S_{ij2} + \dots + \mu_n S_{ijn} + \varepsilon_{ij}, \quad i = \overline{1, n}$$

- ▶ модель інтегральної оцінки ІВ сталості процесів управління будівельним проектом, яка може бути представлена або у вигляді зваженого усереднення збалансованих оцінок за областями знань для усіх процесів

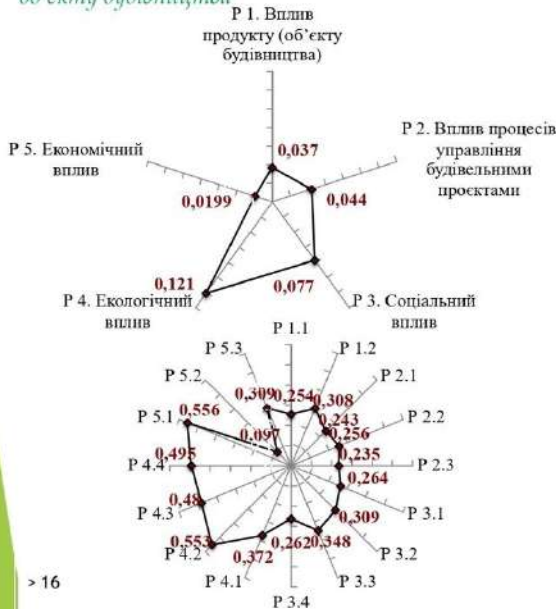
$$VB = \mu_1 VB_1 + \mu_2 VB_2 + \dots + \mu_m VB_m + \varepsilon,$$

або у вигляді зваженого усереднення збалансованих за оцінками процесів управління будівельними проектами для усіх категорій сталого розвитку 5P

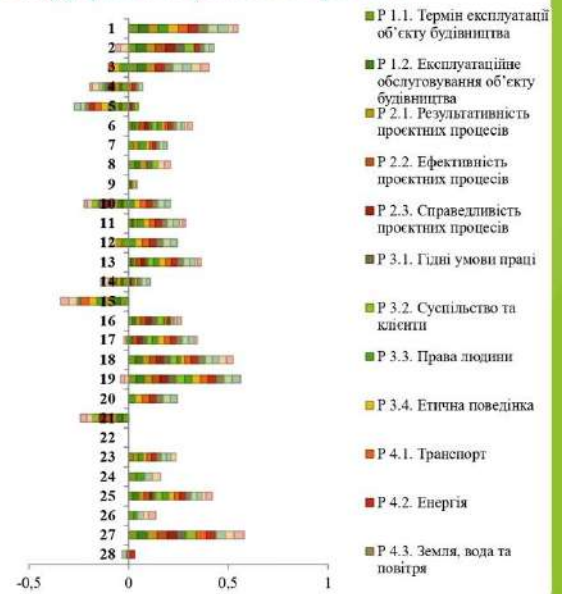
$$> 15 \quad VB = \lambda_1 VB_{01} + \lambda_2 VB_{02} + \dots + \lambda_n VB_{0n} + \varepsilon,$$

| Процеси управління будівельними проектами (PMBOK Construction) | Інструменти та методи | Характеристика сталості управління будівельним проектом |
|--|---|--|
| Передпроектна фаза/Фаза «Ініціація» | | |
| 1. 1. Розробка Статуту проекту | 1. 1. 1. Експертна оцінка | – застосовується для визначення методів і засобів розвитку будівництва, цінностей елементів сталого розвитку; – виконується спонсором, замовником із залученням стейкхолдерів проекту |
| | 1. 1. 2. Сбір даних | Аналіз ризиків і обмежень починається з відповідей на запит пропозицій (Response to a Request for Proposals, RFP). При цьому має бути враховано бачення/точка зору замовника, підрядника і кожного стейкхолдера, який бере участь в проекті. Для кожного будівельного проекту необхідно збирати дані щодо екологічних наслідків, безпеки персоналу та громадськості, а також правил безпеки. Збір даних здійснюється методами "мозковий штурм", "фокус-групи", "інтерв'ювання" |
| | 1. 1. 3. Міжособистісна та командні навички | Застосовуються для управління конфліктами, фасилітації, управління зустрічами. Робота в іспі та команді, орієнтованої на досягнення цінностей сталого розвитку, ґрунтується на взаємоповазі, рівних правах та можливостях, чесній конкуренції, нульової толерантності до корупції і т.ін. |

Приклади профілограм збалансованих оцінок по усім процесам управління для забезпечення сталості об'єкту будівництва



Приклад діаграми збалансованої оцінки сталості за усіма категоріями (субкатегоріями) 5P для кожного процесу управління будівельним проектом



ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Характеристики сталості управління будівельним проектом у процесах ініціації та планування [47]

| Процеси управління будівельним і проектами (PMBOK Construction) | Інструменти та методи | Характеристика сталості управління будівельним проектом |
|---|-------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Передпроектна фаза/Фаза «Ініціація» | | |
| 1.1. Розробка Статуту проекту | 1.1.1. Експертна оцінка | <p>– застосовується для визначення методів і засобів розвитку будівництва, цінностей елементів сталого розвитку;</p> <p>– виконується спонсором, замовником із залученням стейкхолдерів проекту</p> |
| | 1.1.2. Сбір даних | <p>Аналіз припущень і обмежень починається з відповідей на запит пропозицій (Response to a Request for Proposals, RFP). При цьому має бути враховано бачення/точка зору замовника, підрядника і кожного стейкхолдера, який бере участь в проекті. Для кожного будівельного проекту необхідно збирати данні щодо екологічних наслідків, безпеки персоналу та громадськості, а також правил безпеки. Збір даних здійснюється методами “мозковий штурм”, “фокус-групи”, “інтерв’ювання”</p> |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------------|---|---|
| | 1.1.3. Міжособистісні та командні навички | Застосовуються для управління конфліктами, фасилітації, управління зустрічами. Робота в команді, орієнтованої на досягнення цінностей сталого розвитку, ґрунтується на взаємоповазі, рівних правах та можливостях, чесній конкуренції, нульовій толерантності до корупції і т.ін. |
| | 1.1.4. Народи | Проводяться за участі ключових стейкхолдерів будівельного проекту (у т.ч. із залученням замовника, підрядника, проєктувальника, клієнтів) для визначення цілей проєкту, критеріїв успіху, ключових результатів ..., цінностей сталого розвитку (соціальних, екологічних, економічних) |
| 10.1. Ідентифікація стейкхолдерів | 10.1.1. Експертна оцінка | Забезпечує всебічну ідентифікацію та перелік стейкхолдерів (у тому числі, ті, що мають конкуруючі цілі, очікування, по різному впливають на хід проєкту). Експертна оцінка стейкхолдерів сталоорієнтованого проєкту здійснюється із залученням green-менеджера, експертів з сертифікації BREEAM/LEED/LBC, а також з врахуванням попереднього досвіду. У прийнятті рішення про перехід до фази “Планування” перевага надається експертній оцінці |
| | 10.1.2. Сбір даних | Залежить від масштабу проєкту. Наприклад, будівельні проєкти, які фінансуються з державних або місцевих бюджетів, передбачають юридично складні процедури збору даних (офіційні запити, заявки, тендери). |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---------------------|----------------------------------|---|
| 10.1. Ідентифікація | | Екологічні ініціативи можуть бути частиною нормативних або проєктних вимог/даних |
| стейкхолдерів | 10. 1. 3. Аналіз даних | Результати аналізу стейкхолдерів, їх інтересів, очікувань і ставлення до проєкту використовуються для пом'якшення потенційних невідомих ризиків. Результатом аналізу документів є оцінка знань, компететності команди управління, попереднього досвіду (“вивчених уроків”) зі сталоорієнтованого управління будівельними проєктами. Загальний аналіз даних – список стейкхолдерів з відповідною інформацією, визначенням ролі та місця в проєкті, очікувань з кореляцією до ЦСР |
| | 10. 1. 4. Представлення даних | Реалізується у вигляді “матриці влади/інтересів стейкхолдерів на проєкт” та потенційної неоднозначності щодо потреб і вимог до проєктно-технічних рішень стійкого об’єкту будівництва |
| | 10. 1. 5. Наради | Проводяться регулярно із залученням усіх стейкхолдерів проєктів (у тому числі бенефіціарів, green-менеджера, експерта з сертифікації за стандартом BREEAM/LEED/LBC), а також з урахуванням ролі у проєкті, обов’язків, рівня повноважень. Усі учасники нарад дотримуються культури сталості). Наради проводяться із застосуванням широкого кола онлайн-інструментів групової роботи |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|--|
| Фаза «Планування» | | |
| 1.2. Розробка плану управління проектом | 1.2.1. Експертна оцінка | <p>Застосовується для:</p> <ul style="list-style-type: none"> – адаптації управлінських процесів відповідно до потреб забудовника, клієнта, green-менеджера, експертів з сертифікації BREEAM/LEED/LBC та інших стейкхолдерів; – розробки технічних та управлінських рішень щодо найкращого способу реалізації проекту і отримання результатів/цінностей сталості для усіх залучених сторін; – оцінка інтеграції принципів сталого розвитку у середовище будівельного проекту. |
| | 1.2.2. Збір даних | <p>Аналогічно п. 1. 1. 2, п. 10. 1. 2.</p> <p>Особлива увага приділяється збору даних, пов'язаних з безпекою, якістю, захистом, екологією, поставками ресурсів. Для розробки інтеграційного плану управління будівельним проектом важливі данні містяться у контрактах, зокрема: етапи виконання поставок; вартість/ціна; вимоги до звітності, інспекції, прийому-передачі; правила імпорту та експорту</p> |
| | 1.2.3. Міжособистісні та командні навички | <p>Аналогічно п. 1. 1. 3.</p> <p>Працівникам може знадобитися навчання: культурним цінностям сталого розвитку; чесності і відкритості; нульової толерантності до корупції; правилам комунікації з підрядниками з інших країн. Важливо, щоб план управління проектом</p> |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--|---------------------------|---|
| 1.2. Розробка плану управління проектом | | включав усіх членів команди та відображав спеціальні знання, які є в розпорядженні керівника проекту |
| | 1.2.4. Народи | На першій нараді з обговорення плану управління проектом важливо, щоб були визначити ролі кожного стейкхолдера (у т. ч. green-менеджера) |
| 2.1. Планування управління змістом проекту | 2. 1. 1. Експертна оцінка | В управлінні змістом застосовується для врахування вимог будівельного проекту та організації-виконавця (власника, підрядника, керівника будівництва). Крім того, експертну оцінку надає green-менеджер, експерти з сертифікації BREEAM/LEED/LBC |
| | 2. 1. 2. Аналіз даних | Включає аналіз альтернатив, зокрема оцінюються способи і варіанти інженерних, архітектурно-технічних рішень для забезпечення стійкості об'єкту будівництва. Формується набір даних для проектних креслень, специфікацій, контрактів. Також визначаються допуски, переваги, рівень якості матеріалів та обладнання |
| | 2. 1. 2. Народи | Проводяться з ключовими стейкхолдерами проекту (у т. ч. із залученням замовника, підрядників і субпідрядників, green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) |
| | 2. 2. 1. Експертна оцінка | Застосовується для виявлення і аналізу вимог стейкхолдерів (green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC). Визначається обсяг та ймовірність виникнення потенційних |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|--|---|
| 2.2. Збір вимог | | претензій від замовника, green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC |
| | 2.2.2. Збір даних | Аналогічно п. 1. 1. 2., п. 10. 1. 2, п. 1. 2. 2. Будівельні проекти передбачають отримання офіційних дозвільних документів для початку виконання будівельно-монтажних робіт. Як правило, необхідні технічні умови від державних інспекцій (пожежної безпеки, охорони праці, енергозбереження та ін.). Крім того, виконується оцінка соціальних наслідків (Social impact assessment, SIA) від об'єкту будівництва та оцінка впливу на навколишнє середовище (Environmental impact assessment, EIA) |
| | 2.2.3. Аналіз даних | Аналогічно п. 10. 1. 3, п. 2. 1. 2. Аналіз документів передбачає ідентифікацію усієї задокументованої інформації що стосується вимог проектно-технічних рішень об'єкту будівництва. Перелік документів може включати: нормативну документацію; стандарти зеленого будівництва; угоди; запити і пропозиції; база знань кращих практик стійких будівель і т.ін. |
| 2.2.4. Прийняття рішень | Здійснюється на основі багатокритеріальної оцінки (у т. ч. категоріям цінностей 5P). Серед множини підкатегорій перевага надається тим, які забезпечують стійкість об'єкту будівництва. Оцінки green-менеджера, експерта з з сертифікації BREEAM/LEED/LBC мають більшу вагомість | |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|-----------------|---|--|
| 2.2. Збір вимог | 2.2.5. Представлення даних | Здійснюється у формі: – діаграм (Affinity diagrams): стейкхолдери (у т. ч. green-менеджер, експерт з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) ідентифікують ідеї і подібні ідеї поєднують у групи; – карти (Mind mapping): стейкхолдери (у т. ч. green-менеджер, експерт з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) усі ідеї об'єднують, відображають спільні та відмінні, а потім доповнюють новими |
| | 2.2.6. Міжособистісні та командні навички | Аналогічно п. 1.1.3, п. 1.2.3. Крім того, для збору вимог до будівельного проекту застосовують клієнтоорієнтовані методики, зокрема: “Voice of the customer (VOC)”, історії користувачів (User stories). Сучасні команди управління будівельними проектами використовують ІСТ інструменти (JIRA, Trello, Asana та ін.) для посилення внутрішніх комунікацій |
| | 2.2.7. Контекстна діаграма | відображає як стейкхолдери (у т. ч. замовник, проєктувальник, підрядник, green-менеджер, експерт з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) будуть взаємодіяти для забезпечення стійкості об'єкту будівництва |
| | 2.2.8. Прототипізація | Реалізується шляхом створення робочої 3D, 4D, ... моделей об'єкту будівництва із застосуванням інформаційного моделювання (Building Information |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------|---|--|
| 2.2. Збір вимог | 2.2.8. Прототипізація | Modeling, BIM), дозволяє отримати попередню візуалізацію вимог стейкхолдерів (у т.ч. green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) |
| 2.3. Визначення змісту проєкту | 2.3.1. Експертна оцінка | Аналогічно п. 1.1.1, п. 1.2.1, п. 2.2.1. Перевага надається оцінці експертів, які мають більший досвід у реалізації сталоорієнтованих будівельних проєктів |
| | 2.3.2. Аналіз даних | Аналогічно п. 10.1.3, п. 2.1.2, п. 2.1.3. Аналіз альтернатив використовується для оцінки ступеня кореляції цінностей сталого розвитку 5P у інженерні рішення об'єкту будівництва, а також шляхи досягнення їх стійкості |
| | 2.3.3. Прийняття рішень | Аналогічно п. 2.2.4 |
| | 2.3.4. Міжособистісні та командні навички | Аналогічно п. 1.1.3, п. 1.2.3, 2.2.6. Керівник проєкту відповідальний за вчасне забезпечення доставки технічних рішень команді проєкту та відповідному за ланцюг поставок (команді субпідрядників). Виконання цих обов'язків може бути частиною відповідальності підрядника (наприклад в рамках EPC-контракту (Engineering, procurement and construction)) |
| | 2.3.5. Аналіз продукту | може відбуватись декілька разів, зокрема на стадіях: «ескізний проєкт», «техніко-економічне обґрунтування», «проєкт», «робоча документація», |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--|-------------------------|---|
| 2.3. Визначення змісту проєкту | 2.3.5. Аналіз продукту | «робочій проєкт». Для аналізу стійкості об'єкту будівництва застосовують, у тому числі: методи декомпозиції завдань/проєктних дій; припущення та оцінка ризиків; оцінка вартості; оцінка цінностей |
| 2.4. Створення ієрархічної структури робіт | 2.4.1. Експертна оцінка | Аналогічно п. 1. 1. 1, п. 1. 2. 1, п. 2. 2. 1, п. 2. 3. 1 |
| | 2.4.2. Декомпозиція | Використовується для поділу обсягу проєкту та результатів проєкту на менші, більш керовані частини. Результатом декомпозиції є ієрархічна структура робіт (Work Breakdown Structures, WBS), пакети будівельних робіт (Construction Work Packages, CWPs). WBS і CWPs сталого управління будівельним проєктом мають містити звіти про досягнення цінностей 5P |
| 3.1. Планування термінів проєкту | 3.1.1. Експертна оцінка | Аналогічно п. 1. 1. 1, п. 1. 2. 1, п. 2. 2. 1, п. 2. 3. 1. Експертна оцінка планування термінів реалізації сталості будівельного проєкту має буди заснована на знаннях, у тому числі застосуванні спеціального програмного забезпечення (наприклад, Microsoft Project, Project Libre) |
| | 3.1.2. Аналіз даних | Аналогічно п. 10. 1. 3, п. 2. 1. 2, п. 2. 1. 3, п. 2. 3. 2 |
| | 3.1.3. Наряди | Аналогічно п. 1. 1. 4, п. 10. 1. 5, п. 1. 2. 4, п. 2. 1. 2 |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|---|
| 3.2. Визначення операцій/проектних дій | 3.2.1. Експертна оцінка | |
| | 3.2.2. Декомпозиція | |
| | 3.2.3. Планування накопуючої хвилі | |
| | 3.2.4. Наради | |
| 3.3. Послідовність операцій/проектних дій | 3.3.1. Метод діаграм пріоритету | |
| | 3.3.2. Визначення залежності та інтеграції | |
| | 3.3.3. Випередження та відставання | |
| | 3.3.4. Інформаційна система управління проектами | |
| 3.4. Оцінка тривалості операцій/проектних дій | 3.4.1. Експертна оцінка | |
| | 3.4.2. Оцінка за аналогами | |
| | 3.4.3. Оцінка за параметрами | |
| | 3.4.4. Оцінка за трьома точками | |
| | 3.4.5. Оцінювання «знизу до гори» | |
| | 3.4.6. Аналіз даних | |
| | 3.4.7. Прийняття рішень | |
| | 3.4.8. Наради | |
| 3.5. Розробка розкладу проекту | 3.5.1. Аналіз сітьового графіка | |
| | 3.5.2. Метод критичного шляху | |
| | 3.5.3. Оптимізація ресурсів | |
| | 3.5.4. Аналіз даних | |
| | 3.5.5. Випередження та відставання | |
| | 3.5.6. Стискання графіку | |
| | 3.5.7. Інформаційна система управління проектами | |
| | 3.5.8. Гнучке планування результату | |
| 4.1. Планування | 4.1.1. Експертна оцінка | |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|---|
| управління вартістю проєкту | 4. 1. 2. Аналіз даних | |
| | 4. 1. 3. Наради | |
| 4. 2. Оцінка вартості проєкту | 4. 2. 1. Експертна оцінка | |
| | 4. 2. 2. Оцінка за аналогами | |
| | 4. 2. 3. Оцінка за параметрами | |
| | 4. 2. 4. Оцінювання «знизу до гори» | |
| | 4. 2. 5. Оцінка за трьома точками | |
| | 4. 2. 6. Аналіз даних | |
| | 4. 2. 7. Інформаційна система управління проєктами | |
| | 4. 2. 8. Прийняття рішень | |
| 4. 3. Визначення бюджету проєкту | 4. 3. 1. Експертна оцінка | |
| | 4. 3. 2. Агрегування вартості | |
| | 4. 3. 3. Аналіз даних | |
| | 4. 3. 4. Огляд історичної інформації | |
| | 4. 3. 5. Погодження фінансових лімітів | |
| | 4. 3. 6. Фінансування | |
| 5. 1. Планування управління якістю проєкту | 5.1.1. Експертна оцінка | Аналогічно п. 1. 1. 1, п. 1. 2. 1, п. 2. 2. 1, п. 2. 3. 1, п. 3. 1. 1. Стейкхолдери (у т. ч. замовник, проєктувальник, підрядник, green-менеджер, експерт з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) повинні мати досвід з питань забезпеченні якості, контролю, вимірювання, та покращення якості, а також створення системи якості об'єктів будівництва |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|---|
| 5. 1. Планування управління якістю проєкту | 5.1.2. Сбір даних | Аналогічно п. 1. 1. 2., п. 10. 1. 2, п. 1. 2. 2, п. 2. 2. 2 |
| | 5.1.3. Аналіз даних | Аналогічно п. 10. 1. 3, п. 2. 1. 2, п. 2. 1. 3, п. 2. 3. 2. Аналіз витрат і вигід виконується із залученням green-менеджера, експертів з сертифікації BREEAM/LEED/LBC |
| | 5. 1. 4. Прийняття рішень | |
| | 5.1.5. Представлення даних | Аналогічно п. 2. 2. 5. Green-менеджер, експерти з сертифікації BREEAM/LEED/LBC розробляють SIPOC-діаграми (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, and Customers). Така логічна модель даних візуалізує потоки інформації як досягти цінностей сталості 5P |
| | 5.1.6. Планування випробувань та перевірок | Команда проєкту (у тому числі green-менеджер, експерти з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) визначають, як тестувати або перевіряти об'єкт будівництва, щоб задовольнити потреби і очікування зацікавлених сторін, а також досягти цінностей сталості 5P. |
| 5.1.7. Наради | | |
| 6.1. Планування управління ресурсами проєкту | 6.1.1. Експертна оцінка | |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|--|
| 6.1. Планування управління ресурсами проекту | 6.1.2. Представлення даних | Аналогічно п. 2. 2. 5, п. 5. 1. 5. Для документування ролей і обов'язків членів команди (у тому числі green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) застосовують: організаційну ієрархічну структуру, ієрархічну структуру ресурсів, матрицю розподілу відповідальності |
| | 6. 1. 3. Теорія організацій | Передбачає орієнтацію на розвиток організаційної зрілості зі сталого управління будівельними проектами |
| | 6. 1. 4. Наради | |
| 6. 2. Оцінка ресурсів операцій/проектних дій | 6. 2. 1. Експертна оцінка | |
| | 6. 2. 2. Оцінювання «знизу до гори» | |
| | 6. 2. 3. Оцінка за аналогами | |
| | 6. 2. 4. Оцінка за параметрами | |
| | 6. 2. 5. Аналіз даних | |
| | 6. 2. 6. Інформаційна система управління проектами | |
| | 6. 2. 7. Наради | |
| 7. 1. Планування управління комунікаціями проекту | 7. 1. 1. Експертна оцінка | |
| | 7. 1. 2. Аналіз вимог до комунікацій | Визначає інформаційні (внутрішні і зовнішні) потреби зацікавлених сторін проекту (у тому числі green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--|---|--|
| 7.1. Планування управління комунікаціями проекту | 7.1.3. Комунікаційні технології | Команда сталоорієнтованого управління будівельних проєктом для співпраці та обміну інформацією надає перевагу цифровим інструментам, зокрема: онлайн зустрічам, електронному документообігу, базам даних, соціальним мережам та веб-сайтам |
| | 7.1.4. Комунікаційні моделі | Команда сталого управління будівельним проєктом обирає стиль спілкування, що враховує відмінності методи роботи, вік, національність, професійну спеціальність, етнічну приналежність, расу чи гендер |
| | 7.1.5. Методи комунікації | |
| | 7.1.6. Міжособистісні та командні навички | |
| | 7.1.7. Представлення даних | |
| | 7.1.8. Наради | |
| 8.1. Планування управління ризиками проекту | 8.1.1. Експертна оцінка | |
| | 8.1.2. Аналіз даних | |
| | 8.1.3. Наради | Відбуваються за участі green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC |
| 8.2. Ідентифікація ризиків проекту | 8.2.1. Експертна оцінка | |
| | 8.2.2. Аналіз даних | |
| | 8.2.3. Міжособистісні та командні навички | |
| | 8.2.4. Спирити підказок | Є результатом попереднього досвіду роботи команди сталоорієнтованого управління будівельним проєктом з моделями: PESTLE |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|---|
| 8.2. Ідентифікація ризиків проекту | 8.2.4. Спириски підказок | (political, economic, social, technological, legal, environmental), TECOP (technical, environmental, commercial, operational, political), або VUCA (volatility, uncertainty, complexity, ambiguity) |
| | 8. 2. 5. Наради | |
| 8. 3. Якісний аналіз ризиків проекту | 8. 3. 1. Експертна оцінка | |
| | 8. 3. 2. Сбір даних | |
| | 8. 3. 3. Аналіз даних | |
| | 8. 3. 4. Міжособистісні та командні навички | |
| | 8. 3. 5. Категоризація ризиків | |
| | 8. 3. 6. Представлення даних | |
| | 8. 3. 7. Наради | |
| 8. 4. Кількісний аналіз ризиків проекту | 8. 4. 1. Експертна оцінка | |
| | 8. 4. 2. Сбір даних | |
| | 8. 4. 3. Міжособистісні та командні навички | |
| | 8. 4. 4. Представлення невизначеності | |
| | 8. 4. 5. Аналіз даних | |
| 8. 5. Планування реагування на ризики проекту | 8. 5. 1. Експертна оцінка | |
| | 8. 5. 2. Сбір даних | |
| | 8. 5. 3. Міжособистісні та командні навички | |
| | 8. 5. 4. Стратегії загроз | |
| | 8. 5. 5. Стратегії можливостей | |
| | 8. 5. 6. Умовні стратегії реагування | |
| | 8. 5. 7. Стратегії по відношенню загального ризику проекту | |
| | 8. 5. 8. Аналіз даних | |
| | 8. 5. 9. Прийняття рішень | |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|-------------------------------|---|
| 9. 1. Планування управління закупівлями проєкту | 9. 1. 1. Експертна оцінка | |
| | 9. 1. 2. Сбір даних | |
| | 9. 1. 3. Аналіз даних | |
| | 9. 1. 4. Аналіз вибору джерел | |
| | 9. 1. 5. Наради | |
| 10. 2. Планування взаємодії із стейкхолдерами | 10. 2. 1. Експертна оцінка | Застосовується для визначення рівня залучення кожного стейкхолдера (стейкхолдери (у т. ч. замовника, проєктувальника, підрядника, green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC) на кожному етапі будівельного проєкту |
| | 10. 2. 2. Аналіз даних | може бути представлено у вигляді «матриці оцінки участі стейкхолдерів» (у т. ч. експертів з сертифікації BREEAM/LEED/LBC, експерта з гендермейнстрімінгу в будівництві [24] ті ін.) |
| | 10. 2. 3. Прийняття рішень | відбувається за участю експертів з сертифікації BREEAM/LEED/LBC, експерта з гендермейнстрімінгу в будівництві |
| | 10. 2. 4. Представлення даних | у вигляді «матриці стейкхолдерів», матриць потреб green-менеджера, експертів з сертифікації BREEAM/LEED/LBC, експерта з гендермейнстрімінгу в будівництві |
| | | стейкхолдерів (у т. ч. green-менеджера, експерта з сертифікації BREEAM/LEED/LBC, експерта з гендермейнстрімінгу в будівництві) і проєктної групи присвячені визначенню необхідного рівня |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|--|
| 10. 2. Планування взаємодії із стейкхолдерами | 10.2.5. На ради | залучення усіх стейкхолдерів протягом життєвого циклу будівельного проєкту |
| 11. 1. Планування управління охороною праці, безпекою і навколишнім середовищем будівельного проєкту | 11. 1. 1. Методи підтримки здоров'я | <ul style="list-style-type: none"> – скринінг на наркотики та алкоголь; – паспорт безпеки матеріалу (MSDS); – глобально гармонізована система (GHS); – заходи боротьби з пилом і шумом; – медичні засоби на місці (включаючи портативне обладнання, таке як станція для промивання очей, екстрений душ тощо); – плани зменшення втоми; – обмеження робочого часу; – специфічні для клімату заходи пом'якшення, такі як доступна вода, теплі хатини тощо; – регулярні медичні огляди та гігієнічні умови праці; – навчання персоналу з надання першої допомоги (поруч, якщо не на робочому місці) |
| | 11. 1. 2. Методи забезпечення безпеки робочого місця в | <ul style="list-style-type: none"> – перевірка засобів індивідуального захисту; – попередня підготовка об'єкта (аналіз небезпек, дозволи, ознайомлення з об'єктом і постійне маркування небезпеки тощо); – постійне навчання, управління дорожнім рухом; – перевірка гарантій; – періодична перевірка інструментів та |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|---|
| 11. 1. Планування управління охороною праці, безпекою і | будівництві | обладнання; – стандартні операційні процедури; – розпізнавання та оцінка ризиків; – відповідність OSHA (Occupational Safety and Health Administration); – персонал з безпеки на місці |
| навколишнім середовищем будівельного проєкту | 11. 1. 3. Методи охорони будівельного майданчика | – контрольований доступ за допомогою посвідчення або смарт-картки; – охоронні ворота та огорожі; – транспортні бар'єри; – охоронці; – дистанційна охорона (камери, датчики тощо); – освітлення майданчика |
| | 11.1.4. Інструменти впливу на стан екології | – переробка/утилізація відходів; – поводження з небезпечними відходами; – екологічне очищення; – моніторинг шуму; – акустичний контроль; – планування культурних ресурсів; – вплив на навколишнє середовище; – дренаж ділянки; – контроль пилу; – організація дорожнього руху; – вимоги урядових дозволів |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|---|
| 12. 1. Планування управління фінансами будівельного проєкту | 12. 1. 1. Аналітичні методи | |
| | 12. 1. 2. Техніко-економічне обґрунтування | |
| | 12. 1. 3 Аналіз чутливості | |

ДОДАТОК В

Макет наукової статті для фахового видання

УДК 005.8:69:005.94

Фесенко Тетяна Григорівна*доктор технічних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, orcid.org/0000-0001-9636-9598**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***Демиденко Давид Володимирович***здобувач другого (магістерського) рівня спеціальності «123 Комп'ютерна інженерія» освітньо-наукової програми «Системне програмування», orcid.org/0009-0008-7939-5952**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***Гайдило Дмитро Олексійович***здобувач другого (магістерського) рівня спеціальності «123 Комп'ютерна інженерія» освітньо-наукової програми «Системне програмування», orcid.org/0009-0007-4681-2978**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ: БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ VOSviewer**

Цифрові технології є корисними в галузі архітектури, проектування та будівництва, оскільки надають різноманітні переваги для зацікавлених сторін проекту, зокрема візуалізація, покращення обміну даними, зменшення будівельних відходів, підвищення продуктивності, стійкість продуктивності, підвищення безпеки. Проведений бібліометрично-якісний огляд публікацій (на прикладі наукометричної бази даних Scopus) дозволяє виявити нові прогалини в знаннях і практичних потребах в області інформаційно-комунікативних технологіях (ІКТ) в будівельній галузі. Досліджено сукупності знань, передбачаючи тенденції та закономірності, визначаючи ключові дослідницькі інтереси, журнали, країни, нові досягнення, виклики, негативне ставлення та майбутні напрямки щодо застосування цифрових технологій в будівництві. Результати бібліометричного аналізу заклало основу для майбутніх дослідників, забудовників і девелоперів у прийнятті ефективних рішень в будівельних проєктах.

Ключові слова: цифрові технології; бібліометричний аналіз; інформаційне моделювання будівель (BIM); безпека

Вступ

Сучасні тенденції в будівництві, архітектурі, інженерії свідчать про необхідність кореляції феноменів «цифрові технології», «конкурентні переваги» і «знання». Інноваційні процеси спонукають будівельні та девелоперські компанії до проєктно-орієнтованого управління, як підходу створення нових цінностей. Зокрема, широкого розповсюдження набувають технології інформаційного моделювання об'єктів будівництва (Building Information Model, BIM), що дозволяють налагодити ефективну взаємодію між учасниками, підвищити продуктивність роботи, ощадливо використовувати ресурси і зменшити негативні впливи на навколишнє середовище [1]. Будівельні стандарти (ISO) розглядаються у співвідношенні з Цілями сталого розвитку (Sustainable Development Goals, SDGs) [2]. Отже, ефективність будівельної діяльності залежить не тільки від виробничих технологій, а й від застосування цифрових технологій усіх учасників проєкту (стейкхолдерів).

Інформаційно-технічна інфраструктура, знання ІТ технологій, а також досвід з управління проєктами відображає рівень технологічної (цифрової) зрілості будівельної компанії.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Запровадження BIM стає все більш важливим для будівельної галузі України, що підтверджується прийняттям «Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні» (затверджено Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 року) та Законом «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) 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 цих документів створює 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, розроблено чотири національних стандарти застосування 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 проєкт;

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).

В цілому, впровадження BIM в Україні, продовжить зростати в найближчі роки, оскільки мають потенціал до трансформації будівельної галузі у напрямку підвищення якості, безпеки, ошадливості і сталості [3].

В роботі [4] представлені переваги застосування технологій доповненої реальності (Augmented Reality, AR) та віртуальної реальності (Virtual Reality, VR зокрема для проєктів житлового і комерційного будівництва. Крім того, технології віртуальної реальності, мають широкий потенціал для міського планування [5], акустичного аналізу [6], аналізу рішень та підтримки прийняття рішень [7], безпеки будівництва [8], покращення просторового сприйняття та результатів навчання в інженерних сферах [9]. Пристрої радіочастотної ідентифікації (Radio Frequency Identification Devices, RFID) можуть допомогти підвищити прозорість і продуктивність ланцюжка поставок [10]. Для збору даних, відстеження, візуального моніторингу та оцінки можуть використовуватися технології GPS–GIS [11].

Використання робототехніки має потенціал для підвищення ефективності та безпеки, у довгостроковій перспективі воно не повинно

зменшувати загальні можливості роботи в будівельному секторі [12]. За допомогою відеокамери смартфона програма зчитує QR-код і показує модель без зіткнень на своєму дисплеї. Користувачі можуть вкочати, інтерпретувати або використовувати площини перетину, щоб легко візуалізувати рішення в кресленнях [13]. Також, штучний інтелект пропонує широкі можливості для значного підвищення ефективності за рахунок швидкого та точного аналізу великих обсягів даних [14]. Системи та технології штучного інтелекту можуть вирішувати складні нелінійні функціональні проблеми, а також з високою швидкістю прогнозувати і узагальнювати інформацію [15].

Дане дослідження спрямовано на проведення аналізу публікацій та визначення тенденцій розвитку знань із застосування цифрових технологій в будівництві. Для досягнення поставленої мети пропонується провести пошук актуальних наукових досліджень і розробити їх бібліографічну карту. Це дозволить виявити існуючі дослідницькі акценти та позначити перспективи для подальших наукових пошуків.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є визначення тенденцій розвитку застосування цифрових технологій в будівництві на різних стадіях (від ініціації та проєктування до введення об'єкту в експлуатації) та проблемних питань, пов'язаних з їх використанням. Ці дані будуть орієнтиром для науковців, забудовників та девелоперів.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні завдання:

- сформулювати пошуковий запит за ключовими словами (пов'язаними з диджиталізацією будівництва) та здійснити пошук публікацій у науково-метричній базі Scopus;
- проаналізувати розподіл публікацій з за роками, цитованістю, журналами, академічною приналежністю та іншими критеріями;
- сформулювати інфографіку результатів бібліометричного аналізу із використанням комп'ютерної програми VOSviewer.

Бібліографічний аналіз досліджень

Бібліометрична візуалізація є важливим інструментом для візуалізації інформації та зв'язків між дослідниками, організаціями статтями, журналами тощо. Бібліометрична карта застосовується для класифікації областей знань і шаблонів досліджень на тематику «цифрові технології в будівництві та архітектурі» та допомагає сформулювати цілісне уявлення про поточний стан дослідження, виявити прогалини в

базі знань і спрогнозувати напрямки майбутніх досліджень [16].

Для пошуку публікацій обрана наукометрична база Scopus, як одна з найбільших баз даних, що містить широкий спектр публікацій у наукових журналах, монографіях, матеріалів конференцій. Пошуковий запит здійснювався за ключовими словами: «Digital technology» AND «Architectural engineering» OR «Construction engineering» OR «Civil engineering» AND «BIM» OR «Building information modeling» OR «Building information modelling» OR «Augmented Reality» OR «Virtual Reality» OR «Radio Frequency Identification Devices» OR «Photogrammetry» OR «Images» OR «Videos» OR «Cameras» OR «laser scanning» OR «3D scanning» OR «3D printing» OR «Robotics» OR «Block chain». За пошуковим запитом знайдено 255 документів.

Слід відзначити, що у 2014–2023 роках значне збільшення кількості публікацій свідчить про підвищення потреб та рівня впровадження цифрових технологій в галузь цивільної інженерії (рис. 1).

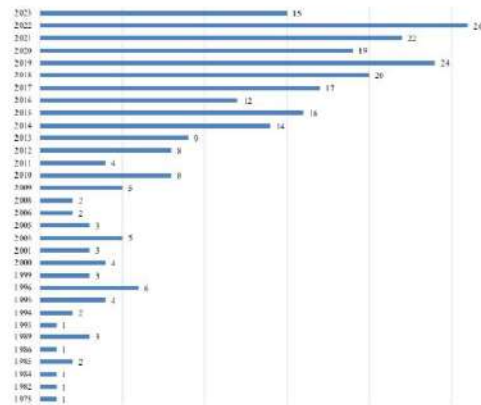


Рисунок 1 – Тренд кількості публікацій на тематику «Цифрові технології в будівництві»

Також встановлено, що найвагоміший внесок – за кількістю публікацій про ІКТ в будівництві – належить журналу «Automation in Construction», за яким йдуть «Journal of Construction Engineering and Management» і «Journal of Computing in Civil Engineering». Внесок автоматизації в будівництві вказує на найпередовіші дослідження в області цифрового будівництва. Слід відзначити також внесок таких вагових видань, як: «Journal of Cleaner Production», «Composite Structures», «Buildings», «Journal of Infrastructure» (рис. 2).

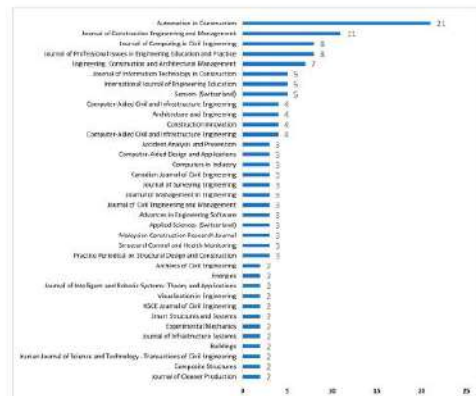


Рисунок 2 – Журнали, в яких опубліковані статті про цифрові технології в будівництві

Із використанням комп'ютерної програми VOSviewer була розроблена мережа для геопросторового розподілу та співпраці (рис. 3). Цей тип аналізу відомий як «співавторство» (одиниця аналізу відома як «країни») презентує мережу країн у сфері наукового співробітництва і допомагає визначити країни, які особливо зацікавлені у сфері суміжних досліджень та колаборації у наукових проєктах. Зокрема, США та Китай мають міцний зв'язок один з одним і стоять на вершині рейтингу країн у дослідженнях ІКТ в будівництві, за якими йдуть Іспанія та Сполучене Королівство. Крім того, були досягнуті значні результати внаслідок співпраці США з Німеччиною, Грецією, Гонконгом, Канадою, Південною Кореєю та Ізраїлем.

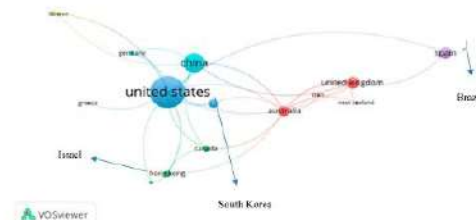


Рисунок 3 – Мережа геопросторової співпраці в дослідженнях про цифрові технології в будівництві

За допомогою VOSviewer можна побудувати область знань «цифрові технології в будівництві», використовуючи аналіз спільного виникнення ключових слів. Продуктивність VOSviewer (мережева візуалізація) – це карта, в якій об'єкти представляють силу зв'язку між елементами. Представлення різних груп елементів показано різними кольорами, які кластеризуються за допомогою відповідної техніки VOSviewer. Розміри

Висновки

У підсумку виявлено, що структура публікацій про застосування цифрових технологій в будівництві значно збільшилась за останні 15 років. Більшість публікацій стосуються автоматизації виконання будівельно-монтажних робіт, а також в відомоніторингу безпеки будівельного майданчика. Встановлено, що більшість авторів публікацій мають приналежність до університетів зі Сполучених Штати. Було також виявлено, що BIM вважається

найбільш популярним цифровим інструментом в сучасній будівельній галузі.

Результати даного дослідження можуть допомогти практикам в обґрунтуванні та виборі цифрових інструментів для підвищення ефективності і безпеки будівельного виробництва. Також результати аналізу бібліометричних даних можуть допомогти у виборі журналу для публікацій, пошуку партнерів для наукової кооперації і проєктів

(линия отсечения устанавливается клавишей Tab через диалоговое окно Табуляция в меню Формат/Абзац/Табуляция)

Список літератури

1. Фесенко Т.Г. Управління проєктами інтегрованого розвитку міста із використанням BIM технологій. Просторове планування: містопланування, архітектура, політичні та соціокультурні засади. 36. наук. пр. Вип. II. В 2-х ч. Київ-Тернопіль : КНУБА, «Бескиди», 2021. Частина 2. С. 13–17.
2. Fesenko T. Conceptualizing of sustainable-oriented construction project management methodology. Dortmund International Research Conference «EURO PIM 2022» (1-2 July 2022). 2022. P. 75–80.
3. Мірошніченко Р. О., Фесенко Т.Г. Управління ризиками BIM проєктів. Перспективи розвитку територій: теорія і практика: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, Харків, 18–19 листопада 2021 р. / Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Рада молодих вчених при МОН України, Slovak technical university in Bratislava, Czestochowa university of technology, Одеський національний економічний університет [та ін.] – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. С. 527–5307.
4. Noghbaei, M., Heydarian, A., Balah, V., & Han, K. (2020). Trend analysis on adoption of virtual and augmented reality in the architecture, engineering, and construction industry. *Data*, 5(1), 26.
5. Maffei, L.; Masullo, M.; Pascale, A.; Ruggiero, G.; Romero, V.P. Immersive virtual reality in community planning: Acoustic and visual congruence of simulated vs real world. *Sustain. Cities Soc.* 2016, 27, 338–345.
6. Iachini, T.; Maffei, L.; Ruotolo, F.; Senese, V.P.; Ruggiero, G.; Masullo, M.; Alekseeva, N. Multisensory Assessment of Acoustic Comfort Aboard Metros: A Virtual Reality Study. *Appl. Cogn. Psychol.* 2012, 26, 757–767.
7. Vincke, S.; Hernandez, R.D.L.; Bassier, M.; Vergauwen, M. Immersive Visualisation of Construction Site Point Cloud Data, Meshes and BIM Models in a VR Environment using a Gaming Engine. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2019, XLII-5/W2, 77–83.
8. Azhar, S. Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites. *Procedia Eng.* 2017, 171, 215–226.
9. Jensen, C.G. Collaboration and dialogue in Virtual reality. *J. Probl. Based Learn. High. Educ.* 2017, 5.
10. Pauwels, P.; Zhang, S.; Lee, Y.-C. Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. *Autom. Constr.* 2017, 73, 145–165.
11. Irizarry, J.; Kavan, E.P.; Jalaei, F. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Autom. Constr.* 2013, 31, 241–254.
12. De Soto, B.G.; Agustí-Juan, I.; Joss, S.; Hunhevicz, J. Implications of Construction 4.0 to the workforce and organizational structures. *Int. J. Constr. Manag.* 2019, 1–13.
13. Zaki, T.; Khalil, C. QR-coded clash-free drawings: An integrated system of BIM and Augmented reality to improve construction project visualization. In *Proceedings of the ICSC15—The Canadian Society for Civil Engineering's 5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver, BC, Canada, 7–10 June 2015*.
14. Patrício, D.I.; Rieder, R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Comput. Electron. Agric.* 2018, 153, 69–81.
15. Mellit, A.; Kalogirou, S.A. Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2008, 34, 574–632.
16. Фесенко Т. Сучасні знання для управління будівельними проєктами: бібліографічна карта дослідження. Архітектура та будівництво: Відродження України. Наука, технологія, практика : Програми і тези доповідей міжнародного науково-технічного форуму, 17 листопада 2022 року. Київ: КНУБА. 2022. С. 344–345.
17. Vitutene, T.; Kalibatene, D.; Hosseini, M.R.; Pellicer, E.; Zavadskas, E.K. Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the Literature. *Adv. Civ. Eng.* 2019, 2019, 1–19.
18. Zheng, L.; Chen, K.; Lu, W. Bibliometric Analysis of Construction Education Research from 1982 to 2017. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 2019, 145, 04019005.
19. Manzoor, B.; Oihman, I. Safety Management Model During Construction Focusing on Building Information Modeling (BIM). In *Advances in Civil Engineering Materials: Selected Articles from the International Conference on Architecture and Civil Engineering (ICACE2020)*; Springer Nature: Singapore, 2021; p. 31.