

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи



Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра електронних обчислювальних машин

Кваліфікаційна робота

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Виконавець: **Гайдило Д.О.**

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
гр. СПМ-21-2

Науковий керівник: **Фесенко Т.Г.** д.т.н., проф.

2023

Інформаційне моделювання будівництва: аналіз проблеми

- ✓ **Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні** (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 року)
- ✓ **Закон України «Про 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)



ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА (інформаційна модель) –

сукупність інформаційних наборів даних, які містять у прив'язці до геоінформаційної системи тривимірну модель об'єкта з багаторівневою деталізацією конструктивних і просторових елементів та стандартизовану цифрову інформацію про їхні фізичні, технічні, технологічні, часові, екологічні та вартісні характеристики.

Методологічні основи дослідження

ОБ’ЄКТ дослідження – параметри та характеристики інформаційного моделювання в будівництві.

ПРЕДМЕТ дослідження – моделі та методи розвитку використання BIM-технологій з урахуванням вимог життєвого циклу будівельного проекту та програмно-технічних характеристик.

МЕТА дослідження – розробка комплексного інструментарію для виявлення рівня BIM-зрілості системи управління будівництвом із використанням проектно-орієнтованого підходу

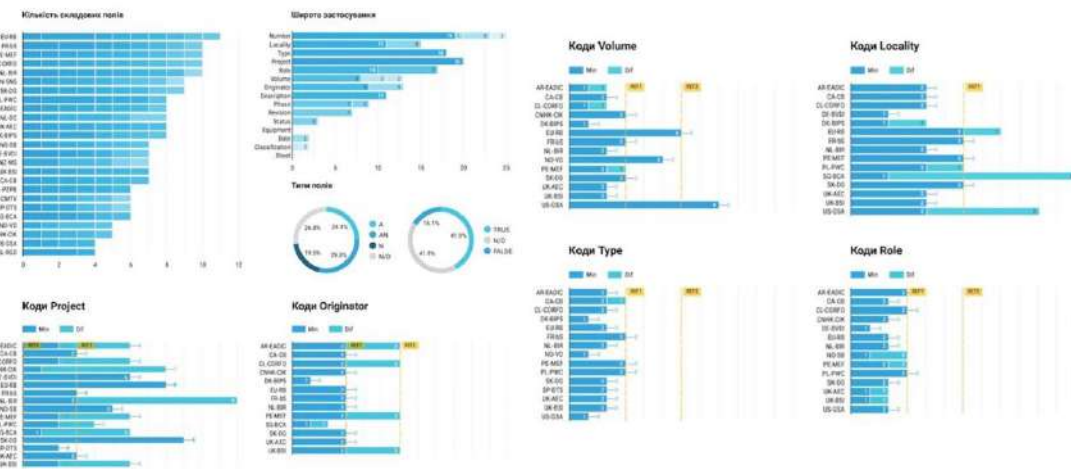
ЗАВДАННЯ дослідження:

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

> 4

Компаративний аналіз ключових полів BIM-систем

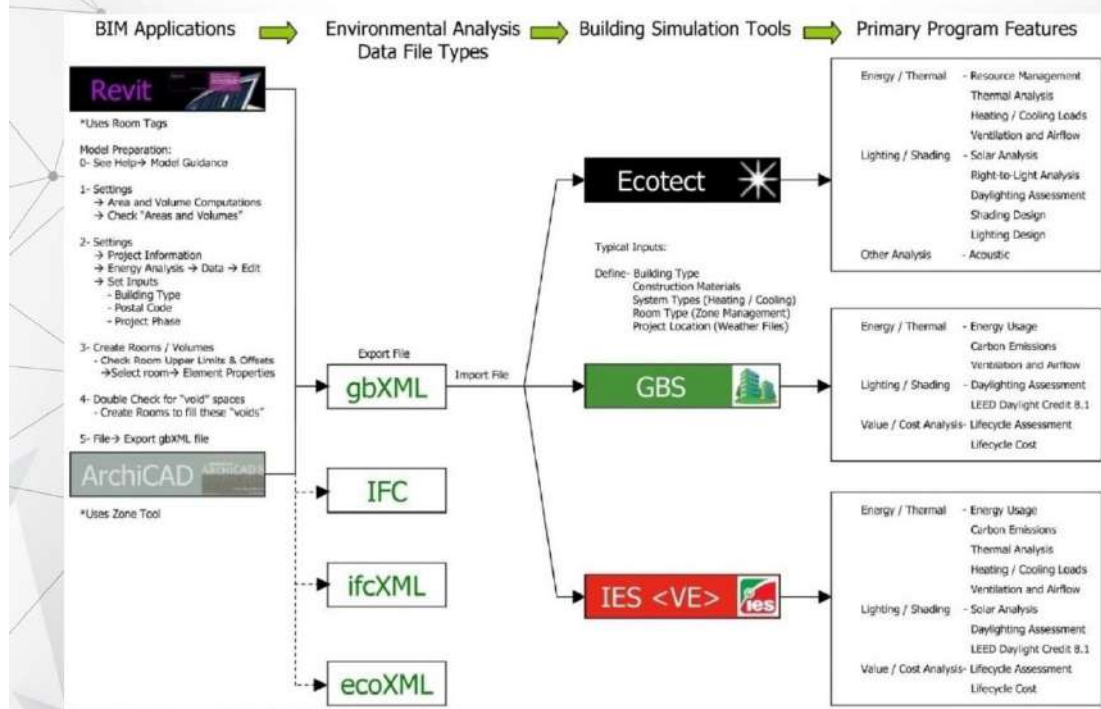
Використання Кодів



BIM-зрілість в програмний платформах

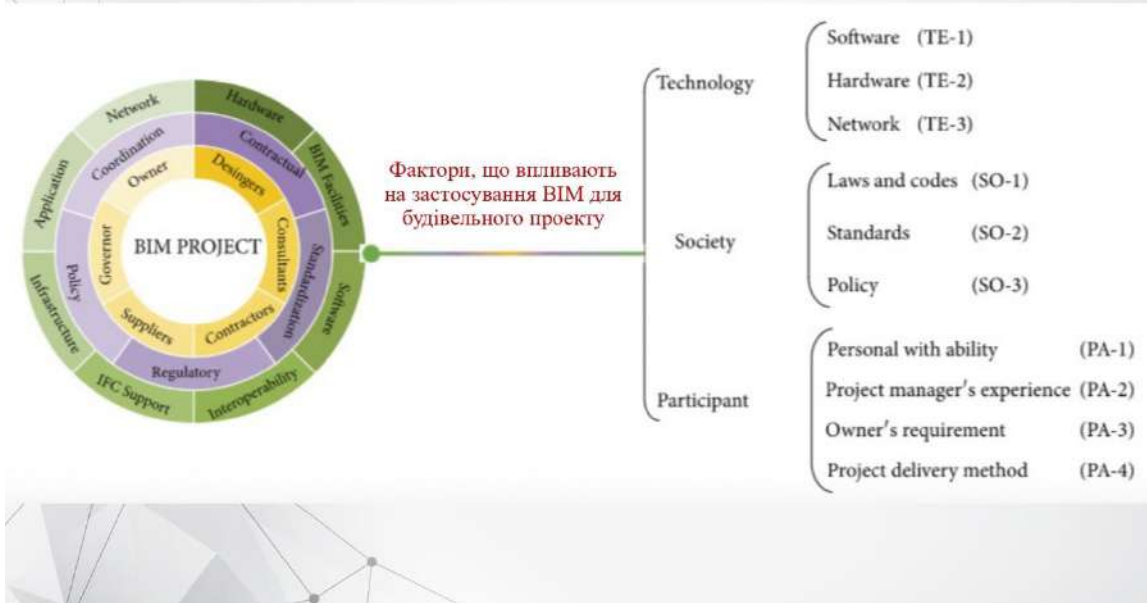
Types of BIM tools	Windows	Mac OS X	UNIX/Linux
Platform BIM modeling tools	Revit ArchiCAD Vectorworks BricsCAD	ArchiCAD Vectorworks BricsCAD	BricsCAD B-processor
Clash analysis	Navisworks BIMSight Solibri Model Checker		
Structural analysis	Revit Scia Engineer		
Construction scheduling	Navisworks		
Energy analysis	Revit		
Quantity take-offs	Navisworks Sigma estimates		
Cost estimating	Sigma estimates Vico systems		
Middleware BIM Tools	Onuma 4projects BIMx BIM+	BIMx Onuma 4projects BIM+	Onuma 4projects BIM+
FM software	Autodesk Revit	Archifm.net	Archifm.net

Інтеграція BIM і програмного забезпечення для аналізу екологічної ефективності будівлі





Концептуальна модель оцінки індексу BIM-зрілості



Інструменти для самооцінки BIM-зрілості

Оцінка за критерієм «Technology»			
Елементи BIM-зрілості	Пояснення	Визначте свій рівень	
Technology	Software	Було застосовано багато популярних інструментів BIM для різних дисциплін, але рівень взаємодії незадовільний	Рівень 2
	Hardware	Інтегровані інструменти BIM можуть задовольнити потреби більшості учасників і підтримувати більшу частину співпраці різних типів. Апаратне забезпечення може задовольнити більшість потреб	Рівень 3
	Network	Обмежений доступ до мережі.	Рівень 4

Оцінка за критерієм «Society»			
Елементи BIM-зрілості	Пояснення	Визначте свій рівень	
Laws and codes	Було оприлюднено лише деякі ключові закони та кодекси, пов'язані з BIM.	Рівень 2	
Standard			
Policy			

Оцінка за критерієм «Participant»		
Елементи BIM-зрілості	Пояснення	Визначте свій рівень
Personal with ability	Майже ніхто не вміє користуватися інструментами BIM.	Рівень 1
Project manager's experience	Керівник проекту має досвід використання BIM, але не в ролі керівника проекту	Рівень 2
Owner's requirement	Власник замовчує учасників застосовувати BIM і забезпечує великі інвестиції.	Рівень 3
Project delivery method	Ідеальний спосіб доставки для застосування BIM.	Рівень 4

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 Windows 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».

ДОДАТОК Б

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 експлуатацію) 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

вузлів демонструють частоту появи відповідних ключових слів, дуги просто показують взаємозв'язок між ключовими словами, а товщина лінії вказує на силу кожного зв'язку.

Різні дослідження також підтримують використання авторських ключових слів для бібліометричного аналізу. Останні дослідження в сфері застосування BIM-технологій для структурної інженерії [17], будівельної освіти [18], відображення сфери знань BIM [19] та інтеграції BIM з характеристиками будівель [20]. Ідентичні терміни, такі як BIM, інформаційне моделювання будівель та інформаційні технології були об'єднані як «BIM та інформаційні технології» відповідно (рис. 4).

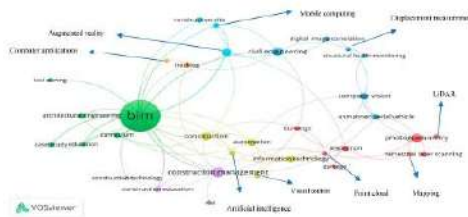


Рисунок 4 – Ключові слова в дослідженнях про цифрові технології в будівництві

Кластер автоматизації інтегрований з будівництвом, інформаційними технологіями, візуалізацією та штучним інтелектом (ШІ). Розвиток ШІ стрімко прискорюється, і поєднання ШІ з автоматизацією почало змінювати індустрію будівництва. «Автоматизація будівництва» – це набір технологічних інновацій нового покоління, які радикально змінюють весь процес і філософію будівництва. По суті, виконання будівельних робіт за допомогою роботів теж називають автоматизацією будівництва.

За останні два десятиліття 3D-моделювання будівель стало однією з найпопулярніших і найактуальніших тем у фотограмметрії, і, здається, фотограмметрія є єдиним комерційним способом отримати справжні 3D-дані міста. Більшість методів 3D-моделювання будівель і LIDAR (Light Detection and Ranging) для будівельних конструкцій можна вдосконалити, щоб оператор міг визначити межі для відображення моделі будівлі. Завдяки результатам наземного лазерного сканування реконструкція фасаду в останні роки виявилася цінним джерелом.

Кластер цивільної інженерії — це поєднання цифрової кореляції зображень, вимірювання переміщень, моніторингу стану конструкцій, комп'ютерного зору та безпілотного літального апарату. Тривимірні (3D) системи кореляції цифрових зображень (Digital Image Correlation, DIC) здатні отримувати профілі деформації, зміщення та

геометрії повного поля. Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) покращує і прискорює процеси вимірювання на оптичній основі, а також мінімізують час простою інфраструктури.

Інтегрований кластер AR складається з будівельного майданчика та мобільних комп'ютерів (представлено світло-блакитним кольором). Концепція використання технології AR для планування будівель набула популярності, оскільки настільні комп'ютери підтримують більш складні графічні можливості. Було виявлено, що AR має бути таким же великим кроком, як і перехід від 2D лінійних креслень до фотореалістичних 3D проєкцій. Крім того, використання мобільних комп'ютерів у будівництві стає важливим предметом дослідження в галузі будівельних інформаційних технологій. Для створення віртуального середовища майже в реальному часі необхідна інтеграція AR з іншими новими цифровими технологіями, такими як блокчейн, IoT (Internet of Things) і MR (Mixed Reality).

Інтегрований кластер управління будівництвом включає будівельну освіту, будівельні технології та RFID. Впровадження RFID та BIM значно покращує контроль якості, логістику роботи, безпеку будівництва. Водночас існує потреба в подальшій інтеграції RFID з іншими новими цифровими технологіями для кращої візуалізації в діяльності з управління будівництвом. Ключовою проблемою підвищення продуктивності RFID та його об'єднання з іншими цифровими технологіями (наприклад, ГІС та AR/VR) це відсутність сумісності.

Отже, що найважливішими цифровими технологіями в будівництві є BIM, робототехніка, фотограмметрія, лазерне сканування, зображення, AR, методи обробки зображень, RFID, VR, мобільні пристрої і 3D-принтери (рис. 5).

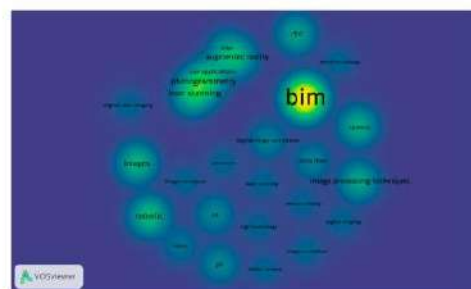


Рисунок 5 – Карта застосування цифрових технологій в будівництві

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 відомониторингу 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.; Agusti-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.