
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 72, 691:692

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.26>

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (ВІМ) У ПРОЦЕСІ РЕСТАВРАЦІЇ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ, ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

*Білов В. А. – аспірант кафедри основ архітектури
та архітектурного проектування*

Київського національного університету будівництва і архітектури

ORCID ID: 0009-0006-5039-2075

Стаття присвячена вивченню можливостей ВІМ-технологій у роботі з пам'ятками архітектури, пошкодженими внаслідок воєнних дій. Проблема збереження культурної спадщини завжди актуальна, але особливого значення вона набула останнім часом. Повномасштабна війна на території України супроводжується серйозними руйнуваннями, зокрема пам'яток архітектури. Реставрація даних об'єктів має вестись відповідно до сучасних норм та з використанням інноваційних технологій, що дозволить звести до мінімуму втрати. Використання ВІМ-технологій у галузі охорони архітектурної спадщини розпочалося порівняно недавно, тому процес вироблення підходів та адаптації методики ведення робіт знаходиться у стадії апробації на різних об'єктах (починаючи з міст та закінчуючи окремими будинками). Набутий досвід необхідно розглядати з позицій використання в Україні, особливу увагу приділяючи проектам, розробленим для умов відновлення пам'яток після військової агресії. Мета роботи – проаналізувати інструменти ВІМ з позиції їх використання у реставрації пам'яток архітектури, пошкоджених під час війни. Методика дослідження носить комплексний характер, що передбачає використання загальнонаукових та спеціальних методів. У роботі проведено аналіз реалізованих проектів, розроблених на матеріалі Сирії, Афганістану, Іраку (наслідки воєнних конфліктів) та інших країн, розглянуто досвід використання ВІМ-технологій для фіксації та інтерпретації руйнувань пам'яток архітектури в Україні. На основі вивчених матеріалів можна стверджувати, що ВІМ технології мають серйозну перспективу використання в роботі з пам'ятками архітектури. Вони дозволяють створювати цілісну та точну документацію, вносити додаткові відомості у процесі роботи на об'єкті, вестись проектні роботи спеціалістам різної спрямованості на єдиній платформі, прискорити прийняття рішень, виключити можливі помилки, контролювати реалізацію проекту.

Ключові слова: пам'ятка архітектури, будівельно-інформаційне моделювання, реставрація, лазерне сканування, фотограмметрія, база даних.

Bilov V. A. Innovative methods of using building information modeling (BIM) in the process of restoration of architectural monuments damaged by military actions

The article is devoted to studying the capabilities of BIM technologies in working with architectural monuments damaged as a result of military operations. The problem of preserving cultural heritage is always relevant, but it has acquired particular importance recently. A full-scale war on the territory of Ukraine is accompanied by serious destruction, including architectural monuments. Restoration of these objects should be carried out in accordance with modern standards and using innovative technologies, which will minimize losses. The use of BIM technologies in the field of architectural heritage protection began relatively recently, so the process of developing approaches and adapting work methods is in the testing stage at various sites (from cities to individual buildings). The experience gained must be considered from the standpoint of use in Ukraine, paying special attention to projects developed for the conditions of restoration of monuments after military aggression. The purpose of the work is to analyze BIM tools from the perspective of their use in the restoration of architectural monuments damaged during the war. The research methodology is comprehensive, which implies the use of general scientific and special methods. The work analyzes implemented projects developed on the basis of material from Syria, Afghanistan, Iraq (consequences of military conflicts) and other countries, and examines the experience of using BIM technologies for recording and interpreting the destruction of architectural monuments in Ukraine. Based on the materials studied, it can be argued that BIM technologies have serious prospects for use in working with architectural monuments. They allow you to create comprehensive and accurate documentation, enter additional information during work on site, conduct design work for specialists of various fields on a single platform, speed up decision-making, eliminate possible errors, and monitor project implementation.

Key words: *architectural monument, building information modeling, restoration, laser scanning, photogrammetry, database.*

Постановка проблеми. Розвиток сучасних технологій впливає на всі сфери життєдіяльності людини. Останніми роками значно змінився підхід до розробки архітектурно-будівельних проєктів та їх реалізації. Проєктування – це комплексна робота, в якій задіяні різні профільні структури. Координація всіх дій є дуже складним процесом, починаючи з узгодження проєктної документації між всіма учасниками. Вирішенням цієї проблеми стало створення інформаційної моделі будівлі – Building Information Modeling (BIM), що дозволила об'єднати та зберігати всю інформацію у вигляді єдиної бази даних. Структуровану та узгоджену таким чином інформацію можна використовувати на різних стадіях роботи з об'єктом: в процесі проєктування, будівництва, експлуатації, реконструкції тощо. Стосовно пам'яток архітектури – це стадії дослідження, технічного обстеження, рятувних консерваційних робіт, реставраційного проєктування та реставраційних робіт.

Головними елементами BIM виступають: тривимірна модель будівлі та структурована база даних, що включає в себе детальний опис усіх складових об'єкта: конструктиву, інженерних систем та комунікацій, будівельних та оздоблювальних матеріалів, предметного наповнення тощо. Застосування та впровадження BIM в реставраційній галузі, на жаль, все ще знаходиться на початковій стадії. Тим не менш, в світі вже є досвід повноцінного використання BIM у роботі з пам'ятками архітектури та цінними історичними будівлями. В Україні потреба у впровадженні цих напрацювань загострилася з початком повномасштабної війни, що призвела до значних руйнацій архітектурної спадщини. Необхідність в прийнятті швидких та обґрунтованих рішень, які стосуються проведення рятувних робіт щодо пам'яток архітектури, потребує звернення до сучасних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Термін «інформаційна модель будівлі» вперше був використаний у статті Г. А. Ван Недервіна та Ф. П. Толмана в 1992 р. [1], але лише на початку 2000-х рр. абревіатура BIM набула широкого поширення.

У технології ВІМ провідну роль відіграє термін «модель». Спочатку застосовувався термін «будівельна модель», який уперше був використаний в публікаціях середини 1980-х рр. – у статті Саймона Раффла [2], потім у статті Роберта Ейша [3].

В даній роботі нас цікавить застосування ВІМ у практиці роботи з історичними будівлями – пам'ятками архітектури. Особливо важливими є питання інформаційного моделювання пам'яток, що постраждали в умовах воєнних дій. З цього приводу слід звернутись до досвіду Сирії, Іраку та Афганістану.

Х. Алтах та С. Хайісмаїл розглядають питання відновлення малих та середніх міст Сирії, де сконцентрована архітектурна спадщина. Автори аналізують можливість використання для цього інноваційних технологій, звертаючи увагу на регіональний контекст [4].

С. Вітасек представив використання методу інформаційного моделювання будівель (ВІМ) для створення проєктної документації на історичну будівлю (НВІМ). У статті на базовому методологічному рівні розкрито, як ВІМ-модель може бути пов'язана з різними інструментами баз даних на прикладі конкретної історичної будівлі (церкви Всіх Святих). Для складання проєктної документації були застосовані ВІМ-технології на рівні хмари точок. Автор розробив групу неграфічної інформації (загальні параметри) для створеної моделі ВІМ. С. Вітасек підкреслив, що НВІМ являє собою ще одну специфічну галузь оцифрування будівельної індустрії, яку необхідно концептуально опрацювати з належними деталями, щоб досягти необхідної ефективної обробки інформації для сталого збереження нерухомої спадщини. Метод роботи, запропонований у статті, може бути застосований організаціями, будь-якими державними і приватними компаніями, які працюють з великою кількістю будівель [5].

Праця З. Саїда, А. Алмухтара, Х. Абанди та Дж. Таха присвячена постконфліктній реконструкції на прикладі м. Мосул (Ірак). Автори зосередили увагу на використанні ВІМ в складних міських умовах із серйозними руйнуваннями з точки зору інфраструктури. Проєкт став значним викликом для міських дизайнерів, планувальників, управлінців. Місто Мосул в Іраку є тим випадком, де існує нагальна потреба у реконструкції, зокрема житлового сектора, після величезних руйнувань, спричинених війною ІДІЛ у 2014–2017 рр. ВІМ використовується саме впродовж останніх років, оскільки забезпечує інтегрований і ефективний процес планування, моніторингу та управління сучасними будівельними проєктами. Автори вказують, що ВІМ не було належним чином досліджено під час планування та управління постконфліктною реконструкцією, особливо в країнах, що розвиваються. Тому акцент у роботі був зроблений на обговоренні потенціалу впровадження ВІМ у постконфліктну реконструкцію шляхом дослідження обґрунтованості процесу ВІМ у плануванні та оцінці можливих рішень. Основні висновки роботи свідчать про те, що програми ВІМ мають значний потенціал для використання у означених умовах, де звичайні методи обмежені, нефункціональні та неефективні [6].

Праця Ж. Кастеллазі, І. Кардиллино, Н. Ло Престі та ін. являє собою тематичне дослідження, яке демонструє адаптовану онлайн базу даних, розроблену для включення ВІМ-моделей архітектурних пам'яток та пов'язаних з ними історичних документів. Науковці зазначають, що цей підхід пропонує відмінну інтеграцію з історичними даними, яка дозволяє користувачам визначити відповідний контекст спадщини. В роботі детально розглянуті можливості бази даних, враховуючи її роль в управлінні культурною спадщиною: функції інтерактиву,

семантичного запиту та вкладень. Автори підкреслюють потенціал ВІМ у цифровому збереженні, документуванні та архівуванні історичних споруд. До того ж, визначена універсальність бази даних як цінного інструменту для освіти, досліджень і співпраці між фахівцями в галузі спадщини та громадськістю. Вирішення конкретних проблем моделювання сприяє постійному удосконаленню програмних рішень для покращення управління історичними активами. На думку дослідників, історичне ВІМ є потужним ресурсом, що зможе подолати розрив між збереженням історичних споруд і сучасними технологіями [7].

Н. М. Левченко, П. С. Бейнер та Н. В. Бейнер дослідили питання використання ВІМ-технологій у реконструкції будівель в ході відновлення міст в Україні. Автори враховують специфіку пошкодження об'єктів під час війни, наголошують на необхідності проведення комплексного дослідження перед виконанням проєктних робіт та наочно демонструють приклад застосування ВІМ у практиці відновлення [8]. В публікації П. Григоровського, І. Осадчої, А. Юреліоніса, В. Басанського та А. Григоровського представлені результати аналізу та перспективи застосування ВІМ для вибору ефективних організаційно-технологічних та технічних рішень щодо ліквідації аварійного руйнування великопанельних будівель внаслідок обстрілів. На думку авторів, створення бази даних типових руйнувань дозволить підвищити ефективність та безпеку робіт з ліквідації аварійних руйнувань будівель; визначити оптимальний варіант рятівної стабілізації та зробити вибір організаційно-технологічних й технічних дій. Запропонована методика може бути застосована для оперативної оцінки технічного стану будівель та вибору стратегії стабілізації, періодичності додаткового моніторингу [9].

Аналіз літератури на тему застосування ВІМ у роботі з історичними будівлями показав, що в даний час є теоретичні та практичні напрацювання у сфері інформаційного моделювання, проте мало вивчена сфера реставрації пам'яток архітектури. Йдеться більшою мірою про графічну реконструкцію втрачених або перебудованих об'єктів, що швидше можна віднести до звичайного 3D-моделювання. Використання ВІМ-технологій найбільшого поширення набуло у новому проєктуванні та будівництві, у реконструкції об'єктів різного призначення, що не мають культурно-історичної цінності. Саме цим обумовлена необхідність детального вивчення можливостей ВІМ у реставрації пам'яток архітектури.

Мета роботи – проаналізувати інструменти ВІМ з позиції їх використання у реставрації пам'яток архітектури, пошкоджених під час війни.

Виклад основного матеріалу. В основу ВІМ лягли такі цифрові технології, як лазерне сканування, системи ГІС, фотограмметрія, візуальна антропология, архітектурна ендоскопія; пізніше було зроблено спробу уникнути плоских проєкцій у кресленнях і перейти до створення об'ємних композицій (3D-моделей), кругових панорам за допомогою спеціальних комп'ютерних програм. Інформаційне моделювання будівель наразі успішно застосовується у Великій Британії [11], США та інших розвинутих країнах.

Крім того, що моделювання включає «геометрію» об'єкта, інформацію про його властивості, воно також враховує просторове співвідношення, географічні та екологічні дані. До переваг ВІМ належать: висока технологічність, покращена візуалізація, уніфікація креслярської продукції, усунення помилок у розрахунках, можливість тиражування та доопрацювання проєктів, автоматизація всіх складних процесів.

Інформаційна модель як інструмент роботи з архітектурною спадщиною використовується у двох основних напрямках: віртуальна графічна реконструкція

втрачених об'єктів культурної спадщини, а також графічна реконструкція існуючих пам'яток архітектури, що передбачає створення дублікату будівлі у віртуальному світі з метою прогнозування можливих змін характеристик реальної споруди. Завдяки інформаційним технологіям вже зараз створюються передумови виникнення нових методів у реставрації в процесі відтворення цінних архітектурних об'єктів [12].

У контексті роботи з історичними будівлями моделі BIM повинні включати інформацію, пов'язану з різними вимогами до управління об'єктами та збором статистики. Таким чином сама BIM-модель становить значну частину проєктної документації у форматі графічної та неграфічної інформації. Ключовим агентом, що бере участь у стандартизації цієї інформації, є Стандарт даних для будівель (DSB). На основі DSB генерується модель BIM.

Залежно від типу будівельної конструкції та суміжних складових проєкту (конструктивна система, сантехніка, електрообладнання тощо) цифрова модель будівлі поділяється на окремі часткові цифрові моделі. Дані з усіх часткових моделей інтегровані в так звану координаційну модель BIM.

С. Вітасек акцентує увагу на інформації, пов'язаній з цифровою моделлю будівлі, яка є найбільш значущим елементом в управлінні історичними будівлями [5]. Він виділяє основні вимоги до інформації. Слід розуміти, що технології BIM ефективні насамперед для управління елементами будівлі, тому ключовим етапом перед створенням самої BIM-моделі є ідентифікація даних в залежності від їх подальшого використання. DSB містить як графічні вимоги до віртуальної форми структур/технологій у цифровому середовищі (так звані елементи), так і вимоги до неграфічної інформації (наприклад, для окремих елементів паспортної системи). Це означає, що отримана модель BIM часто також містить, крім графічного представлення будівлі, більш суттєву неграфічну інформацію, призначену кожному елементу, що являє собою структуру/технологію. Неграфічна інформація поділяється на два основних типи: комплексні (загальні) параметри, що включають інформацію про будівлю в цілому та дані, що відображають конкретні властивості (параметри) окремих конструкцій/технологій у будівлі.

Ключовими BIM-технологіями щодо генерації BIM-моделей є лазерне сканування та фотограмметрія [10]. В процесі лазерного сканування ми отримуємо точну інформацію про об'єкт шляхом визначення його просторових координат. Окремі точки несуть інформацію переважно за принципом просторового полярного методу. Отже, кожна точка ідентифікується косою довжиною, горизонтальним кутом, зенітним кутом, а також може містити значення відтінку кольору. Результатом є хмара точок, яка перетворюється на BIM-модель. Фотограмметрія базується на обробці знімків, які найчастіше виконуються за допомогою дронів та літаків. Це метод вимірювання, який використовується для безконтактного збору даних на поверхні Землі (дистанційне зондування). Після того, як інформація буде зібрана в полі, з фотографій та інших даних створюється хмара точок та BIM-модель об'єкта.

Графічна інформація визначає тип креслення, графіки, розташування у просторі, масштаб, форму тощо. Вимоги до графічних даних відсутні у національних стандартах, тому розробники моделей переважно використовують міжнародний метод розмітки графічних рівнів – Level of Geometry (LOG). LOG визначає геометричний рівень деталізації BIM-моделі або її окремих елементів (конструкцій/технологій, оброблених у віртуальному середовищі) для різних етапів проєктної документації, і у такий спосіб визначає, які частини конструкцій/технологій

повинні бути відображені в моделі. Традиційно шкала представлена в межах LOG 100 – LOG 400. Кожне збільшення геометричного рівня деталізації пропорційно збільшує складність і час, необхідний для створення моделі BIM.

Неграфічна інформація дозволяє описати окремі характеристики будівлі, які зазвичай не виражені графічно. Це, перш за все, назви, розміри, площі, додаткова інформація про будівлю тощо – «Загальні параметри». У міжнародних методологіях рівень деталізації неграфічної інформації називається Level of Information (LOI). Він працює фактично так само, як метод LOG у випадку вимог до графіки. Загальні параметри представляють властивості (параметри) на рівні ідентифікації всієї історичної будівлі, для якої створюється модель BIM. Отже, це група параметрів, яка буде частиною всіх елементів, інтегрованих у цифрову модель будівлі. Виявлення ключової інформації для управління об'єктами потребує певного досвіду роботи з цим процесом. Друга група властивостей пов'язана зі специфічними вимогами окремих структур/технологій до конкретної інформації. Як правило, це тип даних, що стосується параметрів матеріалу, розмірних характеристик, терміну служби тощо. Порівняно з першою групою «Загальних параметрів» ця група значно більша за обсягом. Передусім це пов'язано з широким асортиментом використовуваних будівельних матеріалів і різними технологіями виконання.

Протягом багатьох століть світова архітектурна спадщина зазнавала значних руйнувань не тільки внаслідок релігійного фанатизму та природного впливу, а й під час збройних конфліктів. У другій половині XX – на початку XXI ст. гостро постало питання про збереження світової культурної спадщини, що була знищена через бойові дії в Іраку, Сирії, Лівії, Югославії та інших країнах.

В 2015 р. терористи знищили історичні пам'ятки у місті Пальміра, що відноситься до одного з шести об'єктів Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО в Сирії (храм Бааль-Шамін, храм Бела, статуя «Лева Аллата», Триумфальна арка та ін.).

Значну кількість пам'яток було втрачено в Іраку (місто Мосул) та Афганістані (палац Дар-аль-Аман, дві гігантські статуї Будди).

Під час війни в Сирії архітектурній спадщині у багатьох містах було завдано неабиякої шкоди: від незначного пошкодження до повного руйнування. Більше того, проблема ускладнюється поганою якістю або відсутністю передового управління спадщиною, яке підтримує відновлення цих міст, особливо в середніх та малих містах із традиційною забудовою [4]. Досвід Сирії демонструє необхідність використання цифрових методів документування та цифрового управління архітектурною спадщиною.

Звичайні підходи до постконфліктної реконструкції будівель розглядаються як тимчасові, економічно орієнтовані та нефункціональні в довгостроковій перспективі. На прикладі міста Мосул (Ірак) був запропонований новий підхід на основі BIM для оцінки можливих проєктних рішень. Відновлення забудови з використанням багатовимірних додатків BIM на постконфліктній території продемонструвало ефективність цієї пропозиції [6].

Потенціал впровадження програм BIM для планування та управління реконструкцією постраждалої забудови визначався за послідовними етапами:

1. Застосування 3D BIM: розробка 3D BIM-моделі запропонованого концептуального рішення одиниці забудови. Модель BIM була створена з дотриманням особливостей і характеристик обраного історичного прототипу та базувалася на системі попереднього дослідження традиційної забудови.

2. Застосування 4D BIM: цей додаток оцінює часову ефективність прийняття запропонованого підходу до реконструкції. На даному етапі перевіряється

потенціал впровадження BIM у плануванні часових меж розробки та реалізації проєкту. Це програмне забезпечення BIM проводить дослідження на основі часу, пов'язуючи розроблену модель BIM із набором будівельних робіт, кожна з яких має визначений часовий проміжок, поєднаний із певним елементом або етапом будівництва.

3. Застосування 5D BIM: дана програма оцінює рентабельність запропонованої парадигми реконструкції – проводить розрахунки витрат, використовуючи кількість, згенеровану з моделі BIM, а потім пов'язує її з цінами на будівництво, щоб забезпечити оцінку вартості в реальному часі.

4. Застосування 6D BIM: така програма перевіряє очікувану експлуатаційну поведінку запропонованої моделі реконструкції порівняно зі звичайними системами будівництва в умовах міста Мосул. Розроблена модель BIM пов'язується з певним географічним налаштуванням, потім експортується у Green Building Studio (хмарний інструмент BIM), який проводить обчислення енергоспоживання з використанням географічних налаштувань міста Мосул і будівельних характеристик моделі BIM.

5. Застосування 7D BIM: ця програма досліджує фазу деконструкції запропонованого прототипу забудови [6].

Певний досвід використання BIM-технологій для вирішення питань відновлення забудови після воєнних дій є й в Україні. Руйнація будівель в результаті обстрілів є досить складною за своїм характером, що обумовлює необхідність проведення дуже ретельного комплексного обстеження. Особливого підходу потребують історичні будівлі, оскільки тут йдеться про необхідність збереження їхнього автентичного вигляду, при цьому ступінь руйнації може бути дуже значним. Н. Левченко, С. Бейнер та Н. Бейнер пропонують впроваджувати BIM-технології на етапі розробки проєктної документації, оскільки це дозволяє створити точну 3D-модель будівлі, до якої будуть прив'язані всі характеристики об'єкту [8]. Інструменти BIM дозволяють узгоджувати дії різних спеціалістів, корегувати рішення. Важливою є можливість проводити роботи паралельно, що значно знижує витрати часу та дозволяє мінімізувати технічні помилки, що можуть бути спровоковані недостатністю інформації (особливо на складних об'єктах, якими є історичні будівлі).

BIM-технології дозволяють на моделі визначати критично небезпечні ділянки будівлі та опрацьовувати технічні рішення з укріплення конструкцій, визначати їхню стійкість та витривалість до певних навантажень. Крім того, для пам'яток архітектури важливим моментом є вибір варіанта відновлення фасадів та інтер'єрів будівлі. Для цього може бути застосована методика співставлення моделі сучасного стану об'єкту (зі слідами руйнації) з ідеальною моделлю графічної реконструкції об'єкта, виконаної за матеріалами попередніх досліджень/фіксацій (паспорт пам'ятки архітектури, облікова картка, архівні матеріали тощо).

Розглянемо можливості BIM-технологій у контексті роботи з історичними будівлями. На жаль, на практиці ми постійно стикаємося з відсутністю вичерпної документації навіть щодо значних пам'яток архітектури. Впровадження BIM дозволяє керувати фрагментованими історичними даними, доповнювати їх у будь-який момент та інтерпретувати з метою створення точних моделей [12]. Інтеграція інструментів BIM із традиційною практикою збереження можлива на основі співпраці спеціалістів BIM з архітекторами-реставраторами. Це надасть можливість детально опрацьовувати модель з позицій автентичності та запровадити нові технології в процесі розробки проєктної документації та безпосередньо роботи на об'єкті.

ВІМ дозволяє реалізовувати багатоаспектну структуру архітектурно-реставраційних досліджень. Детальність первісної моделі не завжди може відповідати необхідному для реставраційно-проектних робіт стандарту, але вона слугує важливою відправною точкою. Можливість удосконалювати модель з появою нових даних є дуже перспективною. Водночас поступово можна створювати бібліотеку параметричних елементів (з типових об'єктів чи аналогів), що дозволить оптимізувати майбутні зусилля з моделювання, забезпечуючи більшу точність архітектурних деталей, особливо при їх повній втраті.

Окрім архітектурних аспектів (конструктив, стилістика, фактури та текстури матеріалів тощо), слід звернути увагу на здатність візуалізації отриманих будівлею пошкоджень. За рахунок цього можна прогнозувати подальшу поведінку конструкцій, можливі наслідки руйнації, що дозволить приймати рішення щодо стабілізації будівлі та подальшого відновлення. Проектні рішення також можуть бути перевірені на стійкість до певних навантажень. Ця інтеграція структурного аналізу з інфраструктурою ВІМ покращує розуміння реакції історичних конструкцій на різні навантаження та прокладає шлях для прийняття більш обґрунтованих рішень у структурній оцінці.

Робота з ВІМ є прикладом поєднання передових технологій зі збереженням історико-культурної спадщини. ВІМ-технології забезпечують трансформаційну платформу для документування, аналізу та збереження культурної спадщини, виходячи далеко за межі ринку архітектури, проектування, будівництва та експлуатації, обслуговуючи широке коло професіоналів і дослідників. Крім того, мова йде про ширше використання можливостей: окрім академічних досліджень до додатків віртуальної реальності, хмарна доступність демократизує дані історичної та культурної спадщини, роблячи їх доступними в глобальному масштабі. Це сприяє популяризації культурної спадщини та робить більш зрозумілим для громадськості необхідність її збереження.

Висновки. Проблема дослідження, збереження та реставрації пам'яток архітектури не втрачає своєї актуальності, оскільки це значна частина нашої культури. Останнім часом з'явилися додаткові фактори руйнування пам'яток, що потребують окремого вивчення. Мова йде про наслідки збройної агресії росії. Будівлі отримують неабиякі пошкодження, що нерідко мають свою специфіку, яка проявляється навіть з плином часу. Деякі об'єкти можливо врятувати тільки в разі проведення екстрених консерваційних робіт з метою стабілізації конструкції. Для цього потрібно в короткі терміни провести обстеження та сформулювати технічне рішення, що дасть змогу проведення рятівних робіт.

ВІМ-технології вже добре зарекомендували себе у новому проектуванні, але у сфері охорони культурної спадщини їх почали застосовувати не так давно і в поодиноких випадках. Проте можна впевнено стверджувати, що ВІМ повинно відігравати у проєктах зі збереження та реставрації історичних пам'яток ключову роль.

Підсумовуючи, можна казати про новий внесок у моделювання та управління об'єктами культурної спадщини завдяки інтеграції інформаційного моделювання будівель (ВІМ) і хмарних рішень. Побудова моделей ВІМ забезпечує інноваційні рішення проблем, пов'язаних зі збереженням, дослідженням, реставрацією та експлуатацією історичних будівель, включаючи неповноту даних та додаткові загрози під час війни.

В ході дослідження було виявлено складності з опрацюванням архівної інформації щодо пам'яток архітектури, відсутність або неповноту викладення будівельної історії об'єктів (відсутні детальні дослідження або дані не збереглися),

відсутність належної фіксації пам'яток. Ці виклики підкреслюють важливість безперервного вдосконалення програмного забезпечення, адаптованого до унікальних потреб збереження та реабілітації спадщини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. van Nederveen G. A., Tolman F. P. Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*. 1992. Vol. 1, № 3. P. 215–224. URL: [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-b](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-b) (date of access: 14.12.2023).
2. Ruffle S. Architectural design exposed: from computer-aided drawing to computer-aided design. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1986. Vol. 13, № 4. P. 385–389. URL: <https://doi.org/10.1068/b130385> (date of access: 14.12.2023).
3. Aish R. Building modelling: the key to integrated construction CAD. *CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings*. 1986. Vol. 5. P. 7–9.
4. Altah H., Hajismail S. Architectural Heritage in Medium and Small Syrian Cities. *Management Advanced Strategies for Postwar Recovery*. 2022. Vol. 8. P. 51–65.
5. Vitasek S. The use of the BIM method for sustainable care of historic buildings: Methodological framework. *SHS Web of Conferences 132, 01023*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202213201023> (date of access: 14.12.2023).
6. Saeed Z.O., Almukhtar A., Abanda H., Tah, J. BIM Applications in Post-Conflict Contexts: The Reconstruction of Mosul City. *Buildings*. 2021. Vol. 11, № 351. P. 1–23. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings11080351> (date of access: 14.12.2023).
7. Castellazzi G., Cardillo E., Lo Presti N., D'Altri A.M., de Miranda S., Bertani G., Ferretti F. & Mazzotti C. Advancing Cultural Heritage Structures Conservation: Integrating BIM and Cloud-Based Solutions for Enhanced Management and Visualization. *Heritage*. 2023. Vol. 6 (12). P. 7316–7342. URL: <https://doi.org/10.3390/heritage6120384> (date of access: 14.12.2023).
8. Левченко Н. М., Бейнер П. С., Бейнер Н. В. Реконструкція будівель з використанням BIM-технологій при відновленні міст в Україні. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 4 (99). С. 64–70.
9. Hryhorovskiy P., Osadcha I., Jurelionis A., Basanskyi V., Hryhorovskiy A. A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine. *Buildings*. 2022. Vol. 12, № 1817. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817> (date of access: 14.12.2023).
10. Almukhtar A., Saeed Z.O., Abanda H., Tah J.H.M. Reality Capture of Buildings Using 3D Laser Scanners. *CivilEng*. 2021. Vol. 2. P. 214–235. URL: <https://doi.org/10.3390/civileng2010012> (date of access: 14.12.2023).
11. BIM for Heritage: Developing the Asset Information Model. Historic England. 2020. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage-aim/heag271-bim-developing-asset-info-model/>
12. Kysil O., Kosarevska R, Levchenko O. The innovation of accounting and certification of historic architectural monuments using BIM technology. *Budownictwo i Architektura*. 2020. Vol. 19. P. 5–18. URL: <https://doi.org/10.35784/bud-arch.888> (date of access: 14.12.2023).

REFERENCES:

1. van Nederveen, G. A. & Tolman, F. P. (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, 1 (3), 215–224. URL: [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-b](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-b) (date of access: 14.12.2023).
2. Ruffle, S. (1986). Architectural design exposed: from computer-aided drawing to computer-aided design. *Environment and Planning B. Planning and Design*, 13 (4), 385–389. URL: <https://doi.org/10.1068/b130385> (date of access: 14.12.2023).

3. Aish, R. (1986). Building modelling: the key to integrated construction CAD. *CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings*, 5, 7–9.
 4. Altah, H. & Hajjismail, S. (2022). Architectural Heritage in Medium and Small Syrian Cities. *Management Advanced Strategies for Postwar Recovery*, 8, 51–65.
 5. Vitasek, S. (2022). The use of the BIM method for sustainable care of historic buildings: Methodological framework. *SHS Web of Conferences 132, 01023*. URL: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202213201023> (date of access: 14.12.2023).
 6. Saeed, Z.O., Almukhtar, A., Abanda, H. & Tah, J. (2021). BIM Applications in Post-Conflict Contexts. *The Reconstruction of Mosul City. Buildings*, 11 (351), 1–23. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings11080351>(date of access: 14.12.2023).
 7. Castellazzi, G., Cardillo, E., Lo Presti, N., D’Altri, A.M., de Miranda, S., Bertani, G., Ferretti, F. & Mazzotti, C. (2023). Advancing Cultural Heritage Structures Conservation: Integrating BIM and Cloud-Based Solutions for Enhanced Management and Visualization. *Heritage*, 6(12), 7316–7342. URL: <https://doi.org/10.3390/heritage6120384> (date of access: 14.12.2023).
 8. Levchenko, N. M., Beiner, P. S. & Beiner, N. V. (2022). Rekonstruktsiia budivel z vykorystanniam BIM-tekhnologii pry vidnovlenni mist v Ukraini [Reconstruction of buildings with the use of BIM technologies during the reconstruction of cities in Ukraine]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv – Metallurgy and heat treatment of metals*, 4 (99), 64–70.
 9. Hryhorovskiyi, P., Osadcha, I., Jurelionis, A., Basanskyi, V. & Hryhorovskiyi, A. (2022). A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine. *Buildings*, 12 (1817). URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817> (date of access: 14.12.2023).
 10. Almukhtar, A., Saeed, Z.O., Abanda, H. & Tah, J.H.M. (2021). Reality Capture of Buildings Using 3D Laser Scanners. *CivilEng*, 2, 214–235. URL: <https://doi.org/10.3390/civileng2010012> (date of access: 14.12.2023).
 11. *BIM for Heritage: Developing the Asset Information Model* (2020). Historic England. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage-aim/heag271-bim-developing-asset-info-model/>
 12. Kysil, O., Kosarevska, R. & Levchenko, O. (2020). The innovation of accounting and certification of historic architectural monuments using BIM technology. *Budownictwo i Architektura*, 19, 5–18. URL: <https://doi.org/10.35784/bud-arch.888> (date of access: 14.12.2023).
-