УДК 378.147:004.092+721.021

Лариса Іванова
кандидат технічних наук, доцент
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-3993-9176
ivanova.ls@knuba.edu.ua

Світлана Ботвіновська
доктор технічних наук, професор
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-1832-1342
botvinovska.si@knuba.edu.ua

Олексій Левченко
кандидат архітектури, доцент
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-5254-2114
levchenko.ov@knuba.edu.ua

Раддаміла Косаревська
кандидат архітектури, доцент
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0003-1076-0364
kosarevska.ro@knuba.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELLING У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ РОБОТИ З ПАМ'ЯТКАМИ АРХІТЕКТУРИ

Анотація. Будівельна галузь України стикається з низкою взаємопов'язаних викликів, серед яких ключовим є відсутність систематизованого процесу генерації та обміну цифровими даними. Введення цифрового інформаційного моделювання (Building Information Modeling, BIM) в архітектурно-будівельну сферу передбачає підготовку кваліфікованих спеціалістів усіх рівнів, оскільки ця технологія стає повноцінною і поширеною за умови достатньої кількості фахівців, які можуть використовувати її на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта.

Автори фокусують свою увагу на визначенні задач удосконалення архітектурно-будівельної освіти для окремого напряму BIM – інформаційного моделювання об'єктів культурної спадщини (Heritage Building Information Modelling, HBIM). Актуальність досліджень автори доводять прикладами руйнувань архітектурних пам'яток у столиці України – місті Києві – внаслідок воєнної агресії та некваліфікованого ставлення до унікальних споруд суб'єктів архітектури всіх рівнів. Як свідчить аналіз світового та європейського досвіду впровадження BIM в освітній процес, цифрові технології у сфері збереження історичних пам'яток мають певні відмінності та виділяються в окремий кейс інформаційного моделювання, що відбивається на вимогах до фахової підготовки спеціалістів. HBIM потребує перманентного розширення спектра наукових та інструментальних досліджень щодо відтворення геометрії віртуальних моделей історичних об'єктів. HBIM вимагає від фахівців володіння законодавством щодо збереження пам'яток, глибоких знань історії архітектури, будівельних технологій та матеріалів, що використовували архітектори минулого.

Автори виділяють ключові задачі впровадження HBIM до вищої освіти: міждисциплінарні навчальні програми; формування нового світогляду; інформаційно-цифровий простір; командна та проєктна робота; геометрична та математична підготовка; професійні навички та компетенції.

Цифрові технології розширюють можливості, але й вимагають постійного підвищення кваліфікації фахівців. Автори розрізняють підходи до підготовки спеціалістів «з нуля» та перекваліфікації фахівців, що призвичаїлись до сталої традиційної технології.

© Лариса Іванова, Світлана Ботвіновська, Олексій Левченко, Раддаміла Косаревська , 2025.

Кваліфікаційна оцінка фахівця HBIM складається з оцінок за тестування та практичні завдання. Таке ставлення до атестації фахівців сприяє успішній імплементації HBIM у будівельну галузь.

Ключові слова*:* заклади вищої освіти; навчальні програми; архітектурно-будівельна освіта; цифрові технології; HBIM; пам’ятки архітектури.

1. ВСТУП

Постановка проблеми.

Будівельна галузь України перебуває під впливом низки взаємопов’язаних проблем, серед яких однією з найважливіших є брак комплексного підходу до створення, впровадження та обміну цифровою інформацією. Ця проблема, зокрема, відображена в Стратегії цифрової трансформації України та концепції розвитку інформаційного суспільства [1], де наголошується на необхідності впровадження сучасних цифрових технологій у всіх секторах економіки, включно з будівництвом. Гальмування систематизованого процесу цифровізації перешкоджає створенню єдиного інформаційного середовища, що ускладнює координацію між різними учасниками проєктів, такими як архітектори, будівельники, інженери та замовники. Відсутність чіткої системи обміну цифровими даними також уповільнює процеси автоматизації, знижує прозорість проєктів і підвищує ризик помилок та дублювання інформації. Така ситуація суттєво стримує впровадження сучасних технологій, зокрема BIM (Building Information Modeling), що є основою для цифровізації будівельних процесів і підвищення ефективності національної інфраструктури.

Останнім часом багато країн, і серед них Україна, розробили політику, спрямовану на переважне чи обов'язкове впровадження технології інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) у будівельній галузі [2], [3]. Такий підхід підкреслює важливість цифровізації для підвищення ефективності проєктування, будівництва та управління об’єктами [4]. Традиційні інструменти оцінки ефективності BIM переважно орієнтовані на якісні аспекти, що підкреслюють переваги цифровізації [5].

Однак брак кваліфікованих фахівців створює значні труднощі для прийняття рішень щодо впровадження та ефективної експлуатації BIM, що стає серйозним викликом для багатьох проєктних, будівельних, керуючих та експлуатаційних компаній.

Впровадження технології інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) у будівельну галузь значно підвищує вимоги до професійної підготовки кадрів. Щоб забезпечити ефективне використання цієї технології на всіх етапах життєвого циклу будівлі, необхідно формувати нове покоління фахівців, які володіють комплексними знаннями і навичками роботи з BIM. Не залишається осторонь і збереження архітектурної спадщини, де важливу роль відіграє напрям HBIM (Historic Building Information Modeling). Робота з об’єктами історичної спадщини вимагає документальної точної фіксації існуючого стану, комплексного розрахунку міцності конструкцій, оздоблювальних та декоративних елементів, розробки проєктної документації реконструкції та реновації, розробки технології проведення ремонтно-реставраційних робіт. Інформаційна цифрова модель будівельної споруди – нова форма документальної фіксації архітектурних об’єктів і нова технологія зберігання (обробки) інформації. HBIM принципово змінює традиційну, сформовану століттями архітектурну діяльність [6], [7], [8], [9].

Особливістю архітектурних об’єктів, які є пам’ятками культурної історичної спадщини, є те, що кожний конструктивний елемент, кожна декоративна деталь містять

у собі історичну інформацію. Зокрема це знання про будівельні матеріали і вироби, технології будівництва, історичні події, способи існування наших предків тощо.

Пам'ятки архітектури – це архів знань і навичок, історична модель минулих періодів, це інформація від попередніх поколінь щодо виконання будівельних робіт, а також виготовлення різноманітних скульптурних об'єктів та елементів архітектурної спадщини. Наукове дослідження та вивчення архітектурних пам'яток дозволяє прогнозувати майбутній розвиток людства і діяльності людей у створенні архітектурних об'єктів. Моделювання історичних будівель значно виграє від використання методу HBIM, оскільки структуровані базові дані створюють стійку та довговічну інформаційну модель [10]. Цифровізація культурної спадщини відкриває можливості для нових підходів до обстеження та реставрації історичних об'єктів, сприяючи їх збереженню та більш точному відтворенню [6].

Тобто HBIM, безумовно, відкриває нові перспективи у відновленні та управлінні пам'ятками архітектури, але водночас вимагає від фахівців ґрунтовних знань як у галузі архітектури, так і в цифровому моделюванні. Це вимагає реформування освітніх програм закладів вищої освіти, де підготовка інженерів і архітекторів повинна передбачати оволодіння не лише базовими знаннями з BIM, але й спеціалізованими навичками роботи з історичними будівлями та технологіями HBIM. Лише після того, як ринок отримає достатню кількість компетентних фахівців, можна очікувати масштабне впровадження цифрових технологій у різних сферах реконструкції та збереження культурної спадщини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Одним з важливих напрямків застосування інформаційного моделювання HBIM в архітектурній діяльності є проєкти реставрації та збереження пам'яток архітектури. Аналіз досліджень у цій галузі свідчить про те, що дослідники стикаються з цілою низкою питань у зворотному процесі моделювання, від хмари точок до параметричної геометричної моделі досить складних геометричних форм історичних об'єктів, що до того ж спотворені руйнуваннями та деформаціями у часі. Окремі дослідження присвячені створенню базових геометричних елементів історичних будівель. Зокрема Капоне та Ланзара використали «гібридну» технологію та методи процедурного моделювання для створення бібліотеки куполів HBIM [7]. Конор Доре також зосереджується на перевагах процедурного моделювання історичних будівель HBIM [8]. Отримані ним результати показують, що процедурне моделювання має потенціал для досягнення більш точної, автоматизованої та простої генерації геометрії BIM із хмар точок. Цікавий досвід італійського дослідника Філіпо Діаро в інформаційному моделюванні історичних будівель [9]. Він пропонує створення динамічної та відкритої платформи, яка могла б розглядати потреби культурної спадщини як пріоритетні. Приклад, що є вкрай цікавим для України в сучасних умовах, – це праця групи вчених з Німеччини щодо параметричного моделювання у середовищі HBIM для реконструкції історичних будівель на прикладі зруйнованої у Другу світову війну церкви святої Катерини (Katharinenkirche) у Нюрнберзі [10]. Моделювання історичних будівель може виграти від HBIM, оскільки необхідне структурування основних даних перетворює їх на дуже стійку інформацію. Отримана модель ідеально підходить для того, щоб надати спостерігачам яскраве враження від інтер'єру та екстер'єру цієї колишньої церкви.

Зацікавленість у використанні інформаційного моделювання в будівельній галузі спричинило зміну пріоритетів серед зацікавлених сторін, які тепер визнають критичну важливість застосування цифрових моделей на всіх етапах життєвого циклу будівлі. Це змусило заклади вищої освіти переглянути свої навчальні програми, впроваджуючи нові дисципліни, що фокусуються на BIM-технологіях, та адаптуючи стратегії викладання для підготовки майбутніх фахівців до нових викликів галузі.

Світовий та європейський досвід впровадження BIM (Building Information Modeling) та HBIM (Heritage Building Information Modeling) в архітектурно-будівельну сферу за сприятливих умов значно випереджає розвиток цих технологій в Україні. У багатьох країнах ці інструменти вже стали стандартом у проєктуванні, будівництві та управлінні інфраструктурними об'єктами, завдяки чому підвищилась ефективність, точність та прозорість процесів. Особлива увага приділяється підготовці кадрів – від робітників до керівників – через інтеграцію відповідних програм у систему освіти. Україна має звернути увагу на цей досвід, особливо на розробку та впровадження освітніх програм для підготовки фахівців різних рівнів у навчальних закладах, що дозволить прискорити поширення та ефективне використання BIM та HBIM у країні. З огляду на це автори приділили увагу аналізу світового досвіду впровадження цифрових технологій у систему підготовки та атестації фахівців у закладах освіти.

Цікаво, що професор Шелбурн з колегами [4], які описують сприйняття студентами поточної практики викладання BIM у закладах вищої освіти в Сполучених Штатах та Сполученому Королівстві, звертають увагу на роль фахового рівня викладача в освітньому процесі. Автори вважають ключовими аспектами підготовки фахівців BIM міждисциплінарні навчальні програми, командну роботу, технічні/технологічні навички та роль викладача. У даному контексті зацікавленості студентів у навчанні сприяє особистий досвід викладача щодо практичного використання BIM у фаховій роботі.

В одному з перших оглядових досліджень [11] група авторів, надаючи огляд останніх тенденцій впровадження BIM в освіту з дисциплін, пов'язаних з архітектурою, інженерією та будівництвом, звертають увагу на важливість міждисциплінарної підготовки фахівців.

Сучасні фахівці в галузі будівництва, окрім традиційної вузькопрофільної підготовки, мають опанувати нові навички, такі як управління даними, знання у сфері інформаційних технологій, енерго- та матеріалозбереження, комплексного проєктування будівель. Академік Хендерсон та професор Джордан [12] наполягають, що важливими є також розвиток системного мислення, здатність до аналізу життєвого циклу будівельних проєктів, розуміння процесів проєктування, а також ділові та маркетингові навички, знання у сфері проєктного фінансування.

Необхідно створювати для студентів активні, складні та інтерактивні навчальні середовища, які стимулюють колективну роботу та дозволяють інтегрувати технологію HBIM як невід'ємну частину освітнього процесу [13]. Такі середовища повинні заохочувати студентів до співпраці, розвивати їхні навички командної роботи та спільного вирішення проблем. Це дозволить практично застосовувати знання, зокрема щодо використання HBIM для моделювання історичних об'єктів, аналізу даних і управління інформацією в реальних проєктах. У таких умовах студенти зможуть більш глибоко зануритись у складні процеси, що супроводжують сучасне будівництво та реставрацію, та отримувати одночасно безцінний досвід практичної роботи з новітніми технологіями та підходами.

Суттєву підтримку для професійного оволодіння HBIM надають студентам знання про умови та історичне середовище існування історичних пам'яток.

Пам'ятки архітектури фактично можна назвати музеєм під відкритим небом. Особливості життєвого середовища, у якому «живе» архітектурна споруда, обумовлюють складні умови для зберігання пам'яток архітектури [14]. Це кліматичні зміни, гідрогеологічні зміни, старіння конструкцій та матеріалів, надзвичайні ситуації, стихійні лиха, техногенні аварії, війни, вандалізм, промислова та сільськогосподарська діяльність людини. У цілому всі ці фактори впливу можна розділити на природні та

антропогенні фактори. Природні фактори пов'язані зі змінами навколишнього середовища, антропогенні фактори пов'язані з діяльністю людини.

Справді, життєве середовище, у якому існують архітектурні споруди, може мати великий вплив на їхній стан і потреби в збереженні. Ось деякі особливості цього середовища:

1. Архітектурні споруди піддаються впливу природних факторів, як-от дощ, сніг, вітер, теплові коливання та інші кліматичні умови. Це може призвести до зносу матеріалів і структур будівель.
2. Міське середовище може бути забрудненим, що може спричинити пошкодження фасадів та поверхонь споруд через викиди автомобільного диму, сміття і інші забруднення.
3. Діяльність людей, а саме: графіті, вандалізм, туризм та масові заходи – може призвести до фізичних та естетичних пошкоджень архітектурних пам'яток.
4. Суспільство та культурні цінності змінюються з часом, що може впливати на ставлення до пам'яток архітектури і їхнє використання. Деякі споруди можуть втратити свою важливість і стати запущеними.
5. Околиці пам'яток архітектури можуть зазнавати змін через нову забудову, дорожні роботи та інфраструктурні проєкти, що може вплинути на їхнє оточення та доступність.

У результаті впливу зовнішніх факторів на архітектурні пам'ятки їх можна поділити на наступні групи за наявним станом:

1. Повністю збережені пам'ятки, які вимагають реставрації, консервації, інструментального моніторингу існуючого стану, юридичного захисту;
2. Напівзруйновані пам'ятки, які вимагають суттєвої реконструкції із збереженням або частковим збереженням автентичності матеріалів, конструкцій, технічного оснащення та подальші заходи збереження відновленої споруди;
3. Пам'ятки, що знаходяться в аварійному стані, що не дозволяє зробити відновлення, підлягають консервації, або знімаються з обліку для можливості знесення;
4. Зруйновані пам'ятки, від яких збереглися останки архітектурного об'єкту, окремі креслення, фотофіксації, живописні зображення, літературні описи та свідчення тощо.

Стосовно всіх цих груп пам'яток архітектури за їх станом збереження досить ефективно застосовується цифрове інформаційне моделювання архітектурного об'єкту HBIM для розробки проєкту зберігання, реконструкції та реставрації об'єкту.

Вихідними даними для цифровізації об'єкту є існуюча документація, археологічні знахідки, результати обмірів, інструментального сканування та натурних досліджень. Вихідні дані пам'яток архітектури мають дуже неоднорідну природу та структуру, відрізняються якісно, технологічно. Створена інформаційна модель дозволяє якісно генерувати проєктну документацію реконструкції або відновлення об'єкту, проводити наукові дослідження, експерименти, забезпечити документацію щодо експлуатації будівлі та поточного моніторингу стану.

Щодо 3 та 4 групи пам'яток архітектури, то відтворена цифрова модель фактично вже є інформаційно-цифровим музейним експонатом. Цифрова модель фізично ліквідованого архітектурного об'єкту дозволяє проводити освітню, туристичну, наукову діяльність тощо. Більш того, за наявності певних умов, збережена інформаційна модель дозволить відновити архітектурну пам'ятку.

Враховуючи ці особливості, збереження архітектурних пам'яток вимагає комплексного підходу, зокрема регулярний облік стану, реставрацію, консервацію та розробку стратегій долати можливі загрози. Це вимагає командної роботи суб'єктів архітектури: архітекторів, інженерів, конструкторів, реставраторів та громадськостідля

забезпечення тривалого збереження цих цінних споруд. У межах співпраці всіх фахівців у HBIM потрібна висока професійна кваліфікація. Це доводить необхідність відкриття декількох спеціальностей у напрямку вищої та спеціальної професійної освіти спеціалістів HBIM та міждисциплінарний підхід до процесу освіти. Також виявляється зв'язок у необхідності підготовки фахівців, спроможних працювати з цифровими інструментами, як у системі вищої освіти, так і спеціальної професійної. Всебічна кваліфікаційна підготовка спеціалістів HBIM підвищує конкурентоспроможність таких спеціалістів. Наприклад, аналіз показав, що студенти, які успішно завершили програму BIM, розроблену Інститутом освіти в Кореї, мали вищі шанси знайти роботу [15].

Цікавим є те, що в інформаційній моделі архітектурної пам’ятки фізично з’являється додатковий вимір – час. Тобто є можливість розглядати стан пам’ятки у різних шарах часу та вивчати трансформацію об’єкту за часом. Відповідно, з’являється етап розрахунку прогнозу зміни стану архітектурної пам’ятки у майбутньому. Від фахівців, що працюють у середовищі HBIM це вимагає знання історичного аспекту існування архітектурної пам’ятки.

Мета дослідження. Метою даного дослідження є обґрунтування ключових напрямів удосконалення освітнього процесу підготовки фахівців, спроможних ефективно працювати з об'єктами архітектурно-культурної спадщини із використанням технології HBIM, шляхом аналізу специфіки цієї технології та оцінювання актуального стану збереження історико-архітектурних пам’яток в Україні.

Крім того слід окреслити підходи, що сприятимуть формуванню нового світогляду та розвитку професійних навичок у випускників архітектурно-будівельних спеціальностей. Це сприятиме інтеграції цифрових технологій у навчальний процес, що дозволить майбутнім фахівцям стати компетентними користувачами сучасних методів інформаційного моделювання, необхідних для ефективного збереження та управління архітектурними пам’ятками.

Необхідно визнати, що сучасний світ активно рухається в напрямку впровадження інформаційного моделювання та цифровізації всіх виробничих, технічних та управлінських процесів. Це глобальне зрушення встановлює нові вимоги до професійних кадрів і ставить перед освітніми установами завдання фундаментального переосмислення підходів до навчання. Важливо не лише адаптувати існуючі програми до нових реалій, а й розробити абсолютно нові стратегії підготовки фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифрової трансформації. Технологічний прогрес потребує не просто адаптації, а глибокого аналізу і впровадження інновацій на всіх етапах навчального процесу. Тобто структура традиційної освітньої школи втрачає свою актуальність. Спроби адаптувати існуючі навчальні програми під вимоги технології BIM або створювати спеціалізовані курси, як це було із системами CAD (Computer-aided design), вже не є достатньо ефективними. Сучасні вимоги BIM, зокрема міждисциплінарна та командна робота, нова філософія життєвого циклу будівельної споруди та обсяг інформації, якою мають володіти фахівці, вимагають принципово нової структури освіти та системи кваліфікаційних іспитів. Необхідно впроваджувати регулярну систему підвищення кваліфікації, дуальну освіту та створювати нові спеціальності для обслуговування BIM. Важливо не просто адаптувати окремі навчальні програми по дисциплінах, а вибудовувати нову структуру освіти загалом. Слід зазначити, що схожа до української, проблема відсутності системної підготовки кадрів для роботи в середовищі BIM спостерігається також у світових і європейських будівельних компаніях. Відомі приклади наскрізної роботи в BIM на всіх етапах життєвого циклу об’єктів поки що обмежені. Тому автори ставлять перед собою завдання глибоко дослідити поточні виклики освітнього процесу стосовно

інформаційного моделювання в будівництві та викликати змістовну дискусію серед усіх зацікавлених сторін, відповідальних за прийняття рішень щодо змін в освітній структурі, зокрема в галузі архітектури та будівництва, щодо інформаційного моделювання об'єктів культурної спадщини (HBIM). Далі планується розробка нової структури та нових навчальних програм, які, як окремі складові, будуть інтегровані в загальну систему архітектурно-будівельної освіти.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Актуальність досліджень в сучасній Україні

Події, які відбуваються в Україні з початку 2022 року, військова агресія Російської федерації проти України не ставлять під сумнів той факт, що в Україні під загрозою руйнування опинилися історико-архітектурні пам'ятки та будинки.

Сучасні HBIM-технології дозволяють відтворити віртуальні цифрові моделі як існуючих будівель та споруд, так і вже зруйнованих. Ці технології допомагають виготовляти актуальні проєкти реставрації будівель, створювати 3D-реконструкції різноманітних пам'яток архітектури [8], [9]. Слід зазначити, що руйнування будинків та споруд в Україні відбувається не лише через агресію та бомбардування з боку Російської федерації, а й через недбале та некваліфіковане ставлення багатьох сучасних архітектурно-будівельних компаній та чиновників до старовинних будинків, які мають неабияку історичну цінність і до сьогодні залишаються візитівкою будь-якого сучасного міста.

Використання BIM-технологій для 3D-реконструкції пам'яток архітектури є складним і багатокритеріальним процесом, який спирається на різні складові. Перша складова – це історична довідка про пам'ятку архітектури, її інформаційна наповненість та аналіз всіх історичних подій, пов'язаних з цією пам'яткою. Друга складова – це наявність графічної інформації, різноманітних креслень, фотографій, картин, кадрів з кінофільмів, що дозволить спростити роботу сучасного архітектора-реставратора і полегшить створення 3D-моделей. Графічна інформація, отримана з різних точок зору, з різними кутами огляду, з різними перспективними зображеннями – все це дозволяє зберігати вигляди інтер'єрів приміщень, екстер'єрів будинків, особливості архітектурних конструкцій, елементи декорування фасадів, визначати розміри тощо. Тому в разі пошкодження або руйнування, сучасні технології дозволяють відтворити пам'ятку архітектури у вигляді, який буде найбільш достовірно повторювати оригінальну споруду. Третя складова – це правильно поставлена мета використання таких технологій. У залежності від мети реконструкції буде виконуватись деталізація моделі, її наповненість різними елементами як інформаційного, архітектурно-художнього, так і технічного характеру. При створенні моделі завжди дуже важливо вже на початковому етапі розуміти, з якою метою буде відбуватися реконструкція. Наприклад, чи це просто відтворення архітектурних рис історичних пам'яток, чи це відтворення всього архітектурного ансамблю міста в цілому, саме тоді така 3D-модель буде відтворювати загальні враження спостерігачів і впливати на їх сприйняття.

Історія відродження найбільш зруйнованих під час Другої Світової війни [10] найкрасивіших міст Європи, таких як Варшава, Дрезден, Лондон, показала, що відбудова зайняла б набагато менше часу і була б простішою, якби збереглись не лише креслення та інвентаризаційні документи в архівах, а й були максимально наближені до оригіналів моделі всіх зруйнованих будинків та споруд. Відновлення за 10-50 років цих

міст було першим унікальним прикладом повернення та реконструкції зруйнованих архітектурно-історичних пам'яток для всього людства.

Нині в Україні внаслідок військової агресії зруйновано і знищено понад 200 історико-архітектурних пам'яток. Більш того, руйнування будинків і споруд у містах України продовжується також у результаті недбалого ставлення людей до свого історичного минулого. Як приклад розглянемо архітектурну спадщину столиці України – міста Києва. Сьогодні історична забудова Києва перебуває під загрозою знищення. Зокрема будинок Вертипороха (рис. 1), колишній прибутковий будинок на розі вулиць Межигірської та Щекавицької, за адресою Межигірська, 33/19 (охоронний номер № 326/32), 1785 року.

Рис. 1. Будинок Вертипороха в Києві
(Фото: Київрада) https://nv.ua/ukr/kyiv/kijiv-chomu-istorichni-budivli-pid-zagrozoyu-znesennya-i-yak-jih-uberegti-novini-ukrajini-50154685.html (accessed: 27.07.2023)

Прибутковий будинок був споруджений у стилі неоренесансу і залишається прикладом забудови Подолу середини – кінця XIX ст. Навіть те, що будинок має охоронний статус і занесений в Державний реєстр нерухомих пам'яток України, не вберегло його від того, що власник будівлі нічого не зробив для реконструкції і відбудови, а тільки сприяв подальшому руйнуванню будинку заради звільнення земельної ділянки під ним. Будинок знаходиться в аварійному стані. Нині зруйновано найцінніші елементи фасаду, відсутній дах (фото рис.1), знищення зазнало й внутрішнє оздоблення.

Цей приклад є підтвердженням того, що для відновлення як цієї, так і інших споруд у комплексі історичного ареалу Подолу, для подальших інвестицій у реконструкцію подібних об'єктів необхідно мати 3D-моделі історичних пам'яток. Наявність цифрових інформаційних моделей для таких об'єктів допоможе розрахувати кошторис на їх відбудову й створити їх вигляд максимально наближеним до задуму архітекторів минулих століть.

Ще одним сумним прикладом недбалого ставлення до культурної спадщини може слугувати будинок «з комахами» Марії Станіславської (рис. 2) по вул. Володимирській, 93 у м. Києві. Унікальна споруда кінця XVII – початку XIX століття неоготичного та неороманського стилів, з прикладом ліпнини у вигляді рослин та комах на стелі. Для будівельної компанії, яка отримала права на забудову сусідньої з цим будинком земельної ділянки, ця споруда не мала ніякої інвестиційної привабливості та цінності. Тому, під час військового стану в Україні, наприкінці квітня 2023 року почалось руйнування старовинного будинку. Після розголосу громадськості та намагань активістів зупинити руйнування садиба із 130-річною історією за наказом Міністерства

культури та інформаційної політики України від 16 червня 2023 року № 332 була занесена у Державний реєстр нерухомих пам'яток України за охоронним номером №3192-Кв.

Рис. 2. Будинок «з комахами» в Києві. Зовнішній вигляд 2023 року; Фото: Ботвіновська С.І., 2023 рік

Але й сьогодні, поки це питання розглядається у державних кабінетах, старовинний будинок руйнується. Навіть арешт нерухомості та протести активістів не зупинили руйнування історичної пам'ятки. Будівництво на сусідній ділянці продовжується. Через будівництво поруч зі старовинною будівлею торговельно-офісного центру забудовник вирішив сусідню земельну ділянку звільнити для збільшення площі своєї забудови і знести споруду. Будівельна компанія розібрала частину споруду, не звертаючи увагу на її статус. І вже не війна, а просто недбалість та байдужість будівельників руйнують і паплюжать обличчя міста, стирають ще одну з його візитівок. Сьогодні є загроза назавжди втратити приклад унікального оздоблення сходової клітини, а саме символів цієї садиби – гігантських комах (рис. 3).

Рис. 3. Будинок «з комахами», оздоблення сходинкової клітини під'їздів (Фото:facebook.com/korob.anton) (accessed: 16.08.2023)

Зараз будинок вже має тріщини, стоїть без вікон і даху. Непримітний зовні він залишається цікавим для сучасних архітекторів. Сандрики (рис. 4, *а, б*), мерлони,

дашок з аркадою (рис. 4, *б*) та інші декоративні елементи фасаду, все це є наслідуванням елементів середньовічного замку або фортеці. Сьогодні споруда

а *б*

Рис. 4. Будинок «з комахами»: сандрики, мерлоки, карниз з аркадою; (Фото: Ботвіновська С.І., 2023 рік)

знаходиться в жалюгідному стані, а факторів її збереження для майбутніх поколінь залишається все менше і менше. Сучасне покоління може назавжди втратити художню естетику цілої епохи, а це дуже погано вплине на туристичну привабливість міста.

Схожих сумних прикладів у столиці України доволі.

Отже, аналіз поточного стану збереження історичних пам’яток в Україні, зокрема на прикладі м. Києва, вказує на нагальну потребу реформування цієї сфери. Основними проблемами є недостатня прозорість процесів та відсутність сучасного підходу до управління даними про пам’ятки. Впровадження методології HBIM може суттєво покращити ситуацію, забезпечивши прозорість, упорядкування та цифрове документування культурної спадщини. Проте найбільшою перешкодою є дефіцит кваліфікованих фахівців у сфері HBIM на всіх етапах життєвого циклу історичної пам'ятки – від збору даних та проєктування до реставрації та подальшого обслуговування об'єктів.

2.2. Ключові задачі впровадження BIM у навчальний процес у закладах вищої освіти архітектурно-будівельної галузі

Для вкрай актуальної задачі збереження та дослідження пам’яток архітектури, BIM відкриває нову спеціальність в архітектурно-будівельній освіті – інформаційне моделювання пам’яток архітектури (HBIM).

У 2009 році Мерфі, Макговерн та Павіа ввели термін HBIM (Інформаційне моделювання історичних будівель) як розширення BIM, адаптоване до історичних будівель [16]. Метою HBIM є створення візуальної та інформаційної моделі BIM історичних споруд, включно з базою даних, яка використовує параметричні моделі, створені як на основі поточних даних у вигляді фотофіксацій та результатів сканування, так і на основі історичних досліджень у вигляді креслень, фотографій, малюнків, текстових документів.

Технологія BIM-моделювання виглядає як ланцюжок: ідея - модель - реалізація, і заточена під алгоритм, де проєктувальник задає параметри, з яких надалі виходить модель. У випадку з історичними пам’ятками фахівець має справу зі зворотним процесом: є вже наявний об’єкт, який задає чіткі рамки того, з чим і як ми можемо

працювати. Процес створення моделі HBIM по суті є зворотним проєктуванням на відміну від сучасного проєктування в системі BIM. Процес починається зі збору даних із використанням лазерного сканера у поєднанні з цифровими камерами. Отримані в результаті сканування хмари точок створюють основу створення 3D-моделі. Математична обробка хмар точок є завершальним етапом у процесі зворотного проєктування геометрії об'єкта. Насичення моделі інформаційними шарами дозволяє отримати повноцінну модель HBIM для створення віртуальних моделей, архівного зберігання, реконструкції та реставрації. Акцентом у роботі фахівців з HBIM є ґрунтовні знання про будівельні технології, матеріали, інструменти, особливості виробництва, кліматичні умови, традиції тощо в історичному контексті. І це одна з основних відмінностей HBIM як розширення BIM.

Особливості HBIM зосереджені на необхідності розвитку чотирьох основних компонент. По-перше – це геометрична база для побудови складних параметричних форм. По-друге – бібліотека параметричних елементів на основі історичних даних. По-третє – програмні платформи для обробки даних лазерного сканування. Четверте – бібліотека інформаційних даних історичних об'єктів.

Саме ці аспекти автори пропонують враховувати під час розробки навчальних програм підготовки спеціалістів HBIM.

Крім того, спеціалізація підготовки повинна враховувати напрями використання моделей HBIM:

- Збереження пам'яток за допомогою документування;
- Науковий аналіз моделі з метою фізичного збереження пам'ятника;
- Проєктування з метою реконструкції та реставрації;
- Поточне обслуговування та збереження історичної спадщини.

Кожен із цих напрямів вимагає від фахівців уміння не тільки працювати в середовищі HBIM, а й знання законодавства та затверджених регламентів, які слід періодично оновлювати та інтегрувати у структуру цифрового середовища. Слід сказати, що дуальна освіта саме в цій частині може дати найкращий результат.

Введення HBIM у навчання та дослідження має кілька важливих переваг:

1. HBIM дозволяє створювати детальні інформаційні моделі архітектурних об'єктів, що враховують усі їхні аспекти. Це допомагає зрозуміти структуру і стан будівлі з великою точністю.
2. HBIM надає засоби для візуалізації пам'яток архітектури в 3D-форматі, що полегшує їх вивчення та аналіз.
3. HBIM дозволяє проводити аналізи, такі як аналіз міцності, енергоефективності, а також симуляції різних сценаріїв реконструкції чи реставрації пам'яток.
4. HBIM дозволяє зберігати велику кількість інформації про пам'ятки архітектури та легко обмінюватися нею між дослідниками та іншими зацікавленими сторонами.
5. Введення HBIM у навчальні програми дозволяє студентам та професіоналам отримувати практичні навички у створенні та аналізі інформаційних моделей пам'яток архітектури.

Отже, наведені фактори доводять доречність підготовки фахівців HBIM за новими програмами, що збільшить можливості дослідження, збереження та реставрації архітектурних пам'яток, сприяючи збільшенню точності, ефективності та доступності даних про них.

Комп'ютерні технології давно вже стали невід'ємною частиною проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів архітектури. Тому, коли постає питання щодо підготовки кадрів, оволодіння комп'ютерними технологіями всіма суб'єктами будівництва – це найважливіша складова кваліфікаційного рівня фахівців. Однак

робота в середовищі BIM вимагає від фахівця не тільки володіння комп'ютерними технологіями, але і великого набору компетенцій, відповідного мислення, уміння оперувати базами даних різної природи, здатності співпрацювати в команді фахівців різних спеціальностей, широкого спектра знань про об'єкт проєктування тощо. Технологія BIM вимагає від фахівця високого професіоналізму, комплексного розуміння процесу проєктування, будівництва та експлуатації будівлі. Водночас інформаційне моделювання робить працю людини більш ефективною і продуктивною, збільшує її інтелектуальну та творчу складову, дозволяє автоматично шукати та вирішувати колізії, тобто уникнути накладених помилок.

Ось деякі ключові аспекти, на які автори дослідження пропонують звертати увагу спеціалістів різних напрямів підготовки під час розробки навчальних програм з оволодіння BIM технологіями:

1. *Архітектура та дизайн:* фахівці повинні мати глибоке розуміння архітектурного дизайну та планування простору, оскільки BIM використовується для створення віртуальних моделей будівель.
2. *Інженерія:* розуміння інженерних аспектів, таких як механіка, електрика, санітарія, конструкції та енергоефективність, – дозволяє враховувати всі необхідні аспекти під час моделювання.
3. *Управління проєктом:* фахівці повинні бути в змозі керувати проєктом BIM, встановлювати та виконувати графіки робіт, взаємодіяти з командою та контролювати якість робіт.
4. *Будівництво і експлуатація:* розуміння процесу будівництва й уміння передбачати потреби в плануванні експлуатації будівель допомагають визначати оптимальні рішення на різних етапах проєкту.
5. *Технічна компетенція:* фахівці повинні знати програмні інструменти САПР для роботи з BIM, такі як Allplan, Archicad або Revit, та мати навички роботи з цими інструментами.
6. *Стандарти та регуляторні вимоги:* розуміння відповідних стандартів та нормативних вимог є важливим для забезпечення відповідності проєктів і будівельних робіт правилам і вимогам, що законодавчо затверджені.

Розуміння цих напрямів і майстерність їх застосування допомагають фахівцям ефективно використовувати BIM для створення детальних, точних та інтегрованих інформаційних моделей будівель, що в результаті поліпшує процес проєктування, будівництва та управління будівлями.

Головною проблемою будівельних вузів України є те, що система підготовки фахівців склалася ще в період застарілої «ручної» школи проєктування. Ця система заснована на індивідуальному навчанні кожного студента в межах своєї спеціальності. Для впровадження BIM потрібно змінити світогляд майбутнього фахівця та спрямувати зусилля на навчання командній спільній роботі з виконавцями суміжних розділів проєкту, будівництва та експлуатації об'єкту. BIM-технологія – це командна робота, заснована на єдиній моделі і передбачає тісну взаємодію фахівців усіх розділів проєктування, будівництва та експлуатації будівлі. Водночас, BIM передбачає цифрову модель, яка також моделює повний безперервний життєвий цикл об'єкта. Це повністю виключає професійний конфлікт проєктувальників, будівельників і фахівців з експлуатації будівлі.

Слід розрізняти процес перепідготовки або підвищення кваліфікації фахівця, що має базову професійну освіту, а також досвід роботи в галузі архітектури та будівництва, і підготовки бакалаврів або магістрів «з нуля» у закладах вищої освіти (ЗВО), зокрема в Україні.

У першому випадку потрібно, крім безпосередньо навчання «комп'ютерному проєктуванню», вибудовувати технологічний процес життєвого циклу об'єкту. Навчати або прилаштовувати до роботи в команді в межах загальної інформаційної моделі. На жаль, це досить складна задача – змінити професійні звички та традиції. З огляду на це важливо підійти досить уважно до підготовки виконання практичних завдань групових проєктів у міждисциплінарному середовищі.

У другому випадку, для підготовки бакалаврів і / або магістрів, слід передбачати наскрізну підготовку студентів у межах усіх дисциплін навчальної програми саме для роботи в системі інформаційного моделювання. Потрібно визнати, що весь світ вийшов на шлях інформаційного моделювання, цифровізацію всіх процесів. І це вимагає переосмислити і перебудувати (або побудувати з нуля) процес навчання і підготовки професійних кадрів. Згодом можуть змінюватись технічне забезпечення, програмні продукти та інше, але система інформаційного моделювання – це наша реальність і перспектива.

Інформаційне моделювання будівель (BIM) – це технологія, яка дозволяє створювати віртуальну модель будівлі в цифровому вигляді, що містить не тільки геометричну інформацію про об'єкти, але й шари всіх інших проєктних даних. Результатом інформаційного моделювання будівлі є комплексна комп'ютерна модель – база даних, що описує як сам об'єкт, так і процес його будівництва, що дозволяє в будь-який момент часу отримувати актуальну проєктну документацію, забезпечує підвищення рівня узгодженості будівельної документації, забезпечує доступність інформації, наочність при проєктуванні, дає можливість більш ретельного аналізу і контролю. Природа даних цифрової моделі різноманітна. Через це подання, формалізація, оцифрування, інтерпретація інформаційних даних та, важливо, сприйняття людиною цих даних в комплексі з геометричною віртуальною моделлю є невід'ємною компетентністю фахівця.

Інформаційна модель зачіпає не тільки весь життєвий цикл об'єкта будівництва (від ідеї до ліквідації або реконструкції), а й пов'язує в єдину команду всіх суб'єктів будівництва та експлуатації об'єкта. Така модель є динамічною системою, яка живе і розвивається в процесі свого існування. Інформаційна цифрова модель будівлі в процесі її «зростання» постійно наповнюється змістом, необхідним (і достатнім) саме для даного етапу роботи. Отже, технологія BIM дозволяє працювати з моделлю на будь-якому етапі життя об'єкта. Більш того, системне об'єднання можливостей BIM-технологій і моделей ГІС (геоінформаційних систем) надають можливість на принципово новому рівні здійснювати моніторинг оптимізації та безпеки життєвого циклу будинку та забудови окремих територій. Питання безпеки пов'язані з життєвими циклами будівлі, споруди і території їх розташування, із зношенням інженерних, транспортних мереж та споруд і систем комунікації будівель, з необхідністю актуалізувати комунікації щодо сучасних ресурсозберігаючих технологій тощо.

У інформаційного моделювання будівель є ще одна важлива властивість: BIM дозволяє проводити віртуальні наукові дослідження та експерименти практично з усіх питань, пов'язаних з плануванням, конструюванням, внутрішнім облаштуванням та обладнанням, енергоспоживанням, екологічністю, особливостями проєктування, будівництва та експлуатації будівель і іншими аспектами проєктно-будівельної діяльності. Поєднання BIM та ГІС-технологій у єдиний комплекс дозволяє моделювати оточуюче середовище в цілому в реальному часі та робити дослідження щодо розвитку осередку існування людини. Технологія проведення наукових досліджень також повинна бути важливою складовою навчальних програм підготовки фахівців BIM у закладах вищої освіти. Розширення навчального процесу за рахунок методології наукових досліджень дозволить студентам не лише оволодіти практичними навичками

роботи з цифровими технологіями, але й розвивати аналітичні здібності, критичне мислення та здатність проводити дослідження для впровадження новітніх рішень у будівельній галузі. Це допоможе майбутнім фахівцям BIM не лише ефективно працювати з проєктами, але й вносити інноваційні підходи у їх реалізацію, зокрема у сфері збереження архітектурної та культурної спадщини.

Окрему увагу слід приділити геометричному поданню простору в середовищі цифрових технологій. Таке подання вимагає від проєктувальників вважати об'єкт цілісною тривимірною конструкцією з набором інформаційних шарів різної природи. 3D-проєктування дозволяє не тільки візуалізувати майбутній проєкт в геометричному і фізичному просторі, а й додає ще й фактор часу – поетапне динамічне моделювання реального процесу всього життєвого циклу об'єкту. Отже, одним з напрямків підготовки фахівців для роботи в середовищі BIM стає набуття компетенцій у галузі 3D геометричного моделювання. Ці компетенції необхідні для ведення професійної діяльності в галузі архітектурно-інженерного проєктування [17]. У процесі підготовки фахівців необхідно вирішити такі завдання: набуття знань, умінь і навичок в процесах створення 3D-моделей архітектурних конструкцій промислових і цивільних будівель; формування навичок щодо адаптації 3D-моделей для роботи з системами віртуальної реальності; набуття навичок створення проєктів будівель і споруд у середовищі віртуальної реальності. У процесі набуття інженерами-будівельниками або архітекторами професійних навичок, вони проходять поступово різні етапи. У процесі оволодіння спеціальними знаннями формується їх інтелект і спосіб мислення, зокрема і просторовий. Просторове мислення можна і потрібно розвивати незалежно від того, наскільки людина володіє цими здібностями від народження. Цей спосіб мислення допомагає людині чітко уявляти певні образи в тривимірному геометричному просторі через розуміння проєкційних зображень: для оцінки архітектури та візуального сприйняття – це центральні проєкції, а для інженерних і конструкторських задач – паралельні проєкції. 3D-моделювання геометричного простору стосується саме створення цифрових моделей. Візуальне читання і розуміння моделей фахівцем, у силу фізіологічних і антропологічних особливостей людини, передбачає читання і розуміння проєкційних 2D пласких зображень. У такий спосіб там, де йде передача даних і управління за типом «машина-машина», природним чином використовується не тільки геометрична 3D-модель, але і все цифрове нашарування. Для обміну даних на кшталт «машина-людина» необхідна така компетенція фахівця, як просторове мислення і розуміння проєкційних зображень, візуалізації і уявлення даних не геометричної природи, а також багатовимірних моделей.

Саме ці компетенції дозволяють фахівцеві проявляти творчі здібності, креативність, керувати створенням розумного навколишнього простору, проводити експерименти і дослідження, прогнозувати процеси. Також геометричне моделювання містить функціонал, необхідний для формоутворення об'ємних елементів: булеві операції, афінні перетворення, розріз тіла поверхнею або площиною, сполучення ліній і поверхонь, побудова симетричного тіла, об'єднання об'ємів та інше. Уміти маніпулювати процесами формоутворення – це також є однією з компетенцій фахівця BIM.

Об'єкти BIM – це параметрично-задані об'єкти. Фізичні і технічні властивості, геометричні розміри, взаємне розташування окремих елементів моделі і багато іншого визначаються наборами різних параметрів і залежать від цих параметрів. BIM передбачає параметризацію елементів моделі будівлі. Під параметризацією мається на увазі завдання параметрів елементів моделі, що обмежують їх взаємне положення і стан. Параметризація дозволяє створювати повну інформаційну модель будівлі, а не

його окремі елементи. Фахівцю BIM потрібно знати поняття параметризації, уміти виділяти параметри і розуміти функціонал управління параметрами.

Досвід впровадження BIM-технології в навчальний процес при підготовці бакалаврів і магістрів для 191 спеціальності «Архітектура та містобудування» й 192 спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» в КНУБА (Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури) у проєктах реставрації та збереження пам'яток архітектури та споруд, що формують історичну спадщину простору розселення, на думку авторів, недостатній та відокремлений, бо не має окремого курсу в програмі навчання архітекторів [18]. Тобто за фахом архітектурної освіти на реставраційно-ремонтні проєкти приділяється мінімальна кількість годин з навчальної програми, порівняно з загальною проєктною діяльністю по створенню нової архітектури.

Не менш важливим у справі підготовки фахівців BIM є викладання нормативно-правової бази щодо збереження пам'яток архітектури.

Питання техніко-правового опису та паспортизації об'єктів культурної спадщини України, гармонізації нормативно-правової бази щодо встановлення параметричних показників облікової картки та паспорта об'єкту культурної спадщини з кожним роком підвищують свою актуальність. Розподіл повноважень та обов'язків, відповідальності за збереження культурної спадщини між гілками державних установ призводить до втрати та занепаду реставраційної школи та археологічних досліджень.

Окремим завданням є оцифрування пам'яток поряд із застарілими «ручними» методами обліку та паспортизації, де спостерігається недостатня автоматизація перерахованих процесів. Дослідження показують, що в період експлуатації історичних об'єктів наглядові органи не мають швидкого способу фіксації їх архітектурних перетворень, а зазвичай і можливості доступу до споруди, яка перебуває в приватній власності. Тому автори досліджень наголошують на необхідності автоматизації вищезазначених процесів можливостями технології BIM.

Затвердження урядом України концепції впровадження BIM-технологій у будівництві [2] відкриває широкі можливості для розвитку та впровадження BIM як інструменту створення архівної документації та ведення державного реєстру об'єктів культурної спадщини України, а професійна спільнота, яка опікується пам'яткоохоронними питаннями, має наочні можливості побачити не тільки сучасний стан пам'ятки, а й «переріз у часі» стану пам'ятки та дослідити зміни, яких вона зазнала.

Юридичні питання до фахівців державних пам'яткоохоронних органів можна залишити за межами цього дослідження. Однак державні виконавчі адміністративні органи, що дозволяють та встановлюють право власності на нерухоме майно, що підлягає визнанню як об'єкт культурної спадщини, мають у судовому порядку вимагати від власників такого нерухомого майна підтримання цих об'єктів у належному технічному стані або повернення його до державної власності. Водночас цифровізація, сканування та створення цифрових двійників таких об'єктів дозволяє якісно фіксувати історичні зв'язки в розвитку таких об'єктів та вивчати технологічну еволюцію на непрямих прикладах.

Вирішення визначених задач освітнього процесу в закладах вищої освіти забезпечується наявністю кваліфікованих фахівців, здатних до ведення обліку та дослідження історичної пам'ятки із залученням HBIM-технології та експертного визначення стану споруди для поєднання факторів, що впливають на сучасний та прогностичний стан пам'ятки, дозволить попередити руйнування та втрату історичної архітектурно-будівельної спадщини.

Удосконалення підходів щодо ведення інформаційного обліку історичних пам'яток, створення їх інформаційних моделей із залученням HBIM-технологій,

поєднання різних факторів, що стосуються історичної архітектурної пам'ятки – все це дозволить якісно генерувати проєктну документацію, необхідну для реконструкції або відновлення об'єктів після їх руйнування. Створена цифрова модель пам'ятки архітектури, що наповнена графічною, історичною та будь-якою іншою інформацією про його трансформацію в часовому періоді, про процес будівництва самого об'єкта, аналіз використаних будівельних матеріалів, аналіз всіх історичних подій, пов'язаних з пам'яткою тощо, сама буде інформаційно-цифровим музейним експонатом. Існування такої цифрової моделі дозволить суспільству проводити різноманітні наукові дослідження, експерименти, створити документацію щодо збереження, відновлення та подальшої експлуатації пам'ятки.

Дослідження підтвердили необхідність введення наведених аспектів HBIM у процес підготовки фахівців для роботи з пам'ятками архітектури в середовищі інформаційного моделювання. Так, 30 травня 2024 викладачі Київського національного університету будівництва і архітектури, учасники міжнародного проєкту The Bridge Олексій Левченко та Олена Дупляк на V-му Міжнародному BIM-форумі "Digital Governance & Education" доповіли про задачі та перспективи щодо нової навчальної програми на 1-му BIM-Education Summit, м. Київ: https://www.knuba.edu.ua/rozvytok-budivelnoyi-galuzi-i-vim-osvita-v-j-mizhnarodnyj-bim-forum-digital-governance-education/.

З огляду на думку групи учасників програми The Bridge від України щодо цілі освітньої ініціативи автори можуть дати експертний висновок, що в жодному закладі вищої освіти (ЗВО) України не впроваджено курсу BIM-проєктування в повному сенсі розуміння цієї технології та зокрема HBIM як спеціалізації освітнього напряму підготовки магістрів. Розробка навчальних програм планується окремо в кожному ЗВО України, які беруть участь в програмі The Bridge, що дозволить поєднати кращі практики вже в узгодженому стандарті від МОН України для всіх освітніх напрямів.

Пропозиції щодо введення спеціалізованого курсу передбачається разом з вивченням курсу «Архітектурної реставрації та Будівельної реконструкції», тому що курс в HBIM об'єднує в цілому два напрями:

1. Архітектура, історія, археологія, моделювання, фотофіксація, HBIM;
2. Будівництво, технологія, розрахунки, підсилення, моніторинг, HBIM.

Відповідно, навіть поєднання *Архітекторів* (моделювання та опис споруди) та *Інженерів* (розрахунок та підсилення споруди) уже дозволяє налагодити наочну міждисциплінарну програму для вивчення HBIM різними фахівцями, що вирішить, наведені вище проблеми щодо роз'єднаності фахівців та навчальних програм у системі вищої освіти.

Загальні принципи застосування BIM до проєктів відновлення та реконструкції були досліджені в навчальному проєкті зі студентами КНУБА, кафедри ІТА (Інформаційні технології в архітектурі) під керівництвом кандидата архітектури, доцента кафедри ІТА Олексія Левченка та кандидата архітектури, старшого викладача кафедри Інформаційних технологій в архітектурі Надії Антоненко на проєкті «Технологія BIM для відновлення міських територій України. Регенерація житлового масиву Нові Будинки в місті Харкові (Ukraine)».

На етапі низького деталювання моделі з рівнем деталізації LOD (Levels Of Detail), а саме LOD 100 визначалася концепція відновлення забудови, а вже на наступних етапах проєктування, з рівнем деталізації моделі LOD 200 та LOD 300, подавалась проєктна пропозиція відновлення. Результати такого підходу представлено на рис. 5, *а, б, в, г*.

Усі стадії проєктування є ітераціями в хмарі BIMplus.

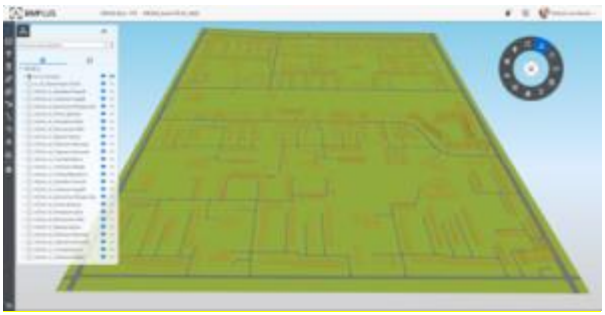

Рис. 5, а. Існуючий стан з деталізацією LOD100

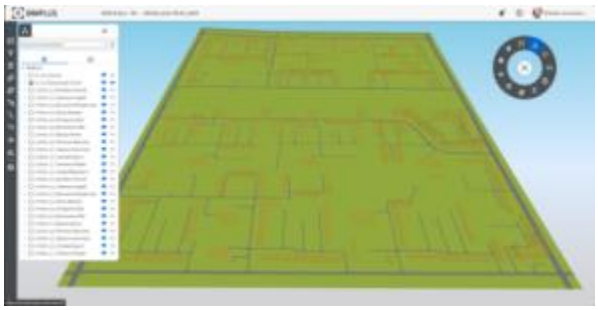

Рис. 5, б. Концепція реконструкції з деталізацією LOD100

Рис. 5, в. Загальна об'ємна пропозиція з деталізацією LOD200

Рис. 5, г. Презентаційна модель з деталізацією LOD300

https://portal.bimplus.net/viewer/#/viewer?project_id=3e2df2d2-0b98-44ec-a977-f4223ec3831f&team_id=a2296930-6e83-4e19-bdce-a4e38b817e6f
Username: bimplus@knuba.edu.ua Password: B1mknub@

За таким саме принципом автори пропонують опрацювання моделі об'єкта культурної спадщини для впровадження HBIM.

Окремо треба зазначити, що певні структурні рівні BIM-технологій, що мають вивчатися на спільних навчальних програмах інформаційних технологій у галузі, зокрема BIM для архітекторів та BIM для будівельників, можуть бути пов'язані в загальному курсі BIM для архітектурно-будівельних спеціальностей. Також автори пропонують вивчати технологію організації проєктування так само, як і організацію будівництва. Таке дослідження проведено відповідно до філософії та технології імплементації питань курсу BIM в КНУБА, що розроблено авторами [18].

2.3. Результати дослідження та їх обговорення

Підготовка фахівців для роботи з пам'ятками архітектури в середовищі BIM є надзвичайно важливим елементом у сучасному будівельному та архітектурному середовищі. Ця технологія відкриває нові можливості для збереження, дослідження та відновлення архітектурних об'єктів, але вимагає високого рівня підготовки та комплексного розуміння проєктування, будівництва та експлуатації будівель.

Підвищення прозорості та зрозумілості технології BIM розширює її застосування на безліч напрямків та вирішує загальну задачу уряду України по підвищенню рівня цифровізації в державі [1].

Цифровізація галузі поширює й інструментальні можливості, що вимагає постійного навчання та підвищення кваліфікації фахівців. Отже, проблеми та перешкоди в імплементації BIM-технологій показують слабкі місця саме в процесі імплементації, а не в самій технології. Поступове та планове навчання дозволяє сформувати необхідні навички та зрозуміти, на якому рівні кваліфікації залишився

кожний слухач курсу по завершенню навчання. Така кваліфікаційна робота є обов'язковою та повинна поєднувати тестування з практичним завданням.

У перспективі дослідження та імплементації технологій на базі BIM потрібний не тільки спеціалізований рівень застосування технології а й спеціалізовані напрями навчання: HBIM, LBIM та інші.

У підсумку слід зазначити найважливіші аспекти, передумови та наслідки підготовки кваліфікованих фахівців для імплементації HBIM технологій у роботі з історичними пам'ятками:

Необхідність навчання та підвищення кваліфікації: стаття підкреслює важливість постійного навчання та підвищення кваліфікації фахівців, які працюють з архітектурними пам'ятками в середовищі HBIM. Це є важливою передумовою для успішної роботи з цінними історичними об'єктами.

Важливість комплексного розуміння: фахівці повинні мати глибоке розуміння всіх аспектів проєктування, будівництва та експлуатації пам'яток архітектури. Це передбачає наявність технічної компетенції, знання, розуміння архітектурного дизайну, інженерії, управління проєктом, історичного контексту.

Тестування та практика: важливим етапом у підготовці фахівців є тестування їхніх навичок та практичних завдань. Це допомагає визначити рівень кваліфікації та готовність працювати з HBIM.

Сприяння успішній імплементації: підготовка фахівців з архітектурної галузі для роботи з пам'ятками архітектури в середовищі HBIM є ключовим фактором успішної імплементації цифрових технологій у збереження та дослідження цінних архітектурних об'єктів.

Необхідність адаптації до нових технологій: впровадження технології BIM вимагає від фахівців готовності адаптуватися до нових інструментів та методології роботи. Це передбачє вивчення нового програмного забезпечення, розуміння стандартів BIM та здатність працювати в колективному середовищі.

Інтердисциплінарний підхід: робота з HBIM враховує взаємодію різних спеціалістів, таких як архітектори, інженери, археологи, історики мистецтва, реставратори та інші. Фахівці повинні навчитися спілкуватися та співпрацювати між собою для досягнення успішних результатів.

Збереження історичної цінності: підготовка фахівців повинна враховувати особливості роботи з історичними пам'ятками. HBIM може допомогти зберегти цінність та автентичність архітектурних об'єктів, проте важливо, щоб фахівці розуміли важливість збереження історичного контексту.

Сприяння навчанню та дослідженням: використання HBIM у навчальних програмах і дослідницьких проєктах сприяє розвитку знань та інновацій у галузі архітектурного дослідження та збереження історичної спадщини.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У цілому в статті підкреслено важливість і необхідність навчання та підвищення кваліфікації фахівців для ефективної роботи з пам'ятками архітектури у віртуальному середовищі HBIM. Це сприяє збереженню та вдосконаленню цінних культурних об'єктів і впровадженню сучасних цифрових практик у сфері архітектури і будівництва.

Заклад вищої освіти IV рівня акредитації КНУБА залучено до робіт з програмами UNESCO за підтримки Міністерства Культури та Інформаційної Політики України: https://www.knuba.edu.ua/memorandum-pro-spivrobitnycztvo-mizh-ministerstvom-kultury-ta-informaczijnoyi-polityky-ukrayiny-ta-kyyivskym-naczionalnym-universytetom-budivnycztva-i-arhitektury/

Студенти та викладачі КНУБА у лютому 2024 року взяли участь у навчальній програмі від офісу UNESCO в Україні (рис. 6), набули теоретичного та практичного досвіду опрацювання даних фотограмметрії та лазерного сканування. Перспективою є подальша робота з програмами UNESCO та застосування набутих навичок.

Рис. 6. Бюро UNESCO в Україні та представники ЗВО України в КНУБА; (Фото: Левченко О. В. , 2024 рік)

Впровадження BIM та HBIM у будівельну галузь відкриває нові можливості для підвищення ефективності проєктування, будівництва та збереження культурної спадщини. Для забезпечення успішної імплементації цих технологій вкрай важливо розвивати освітні програми, що враховують сучасні вимоги до підготовки спеціалістів. Основним висновком є необхідність міждисциплінарного підходу до освіти, який передбачає технічну, цифрову та культурну підготовку фахівців для роботи з BIM/HBIM. Впровадження міждисциплінарних навчальних програм мають охоплювати не лише технічні та математичні аспекти, а й знання в галузі історії архітектури, законодавства збереження культурної спадщини та сучасних технологій моделювання.

Подальші дослідження повинні зосередитись на розробці методик навчання, інтеграції нових цифрових інструментів та розширенні можливостей командної роботи в освітніх програмах. Особлива увага має бути приділена адаптації програм підвищення кваліфікації для фахівців, які вже працюють у галузі збереження культурної спадщини, але потребують оновлення знань у контексті сучасних технологій.

Впровадження технологій BIM і HBIM у будівельну галузь підкреслює важливість якісної підготовки фахівців, здатних ефективно використовувати ці інноваційні методи на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Подальші дослідження повинні зосередитись на кількох ключових напрямках:

1. Важливо розробити комплексні навчальні програми, що передбачають опанування як теоретичними знаннями, так і практичнми навичками роботи з BIM та HBIM. Це передбачає інтеграцію програмного забезпечення для тривимірного моделювання, командної роботи та проєктної діяльності в навчальний процес.
2. Необхідно розробити нові методики та інструменти для підвищення кваліфікації фахівців, що вже працюють у будівельній галузі. Це передбачає адаптацію програм підвищення кваліфікації до швидко змінюваних вимог сучасних технологій та практик.
3. Важливо провести дослідження на основі реальних проєктів та навчання фокус-груп, щоб оцінити ефективність впровадження BIM і HBIM у різних умовах. Це

передбачає аналіз успішних кейсів і виявлення проблем, що потребують додаткового вирішення.

Завдяки цим дослідженням можна очікувати значного покращення якості підготовки фахівців, ефективності використання BIM і HBIM у практичній діяльності, а також збереження культурної спадщини для майбутніх поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1]. Про схвалення Стратегії цифрової трансформації соціальної сфери: Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 28.10.2020 № 1353-р [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2020-р#Text.

[2]. Розпорядження Кабінету міністрів України від 17 лютого 2021 р. № 152-р., *The concept of implementation / Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні*. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-koncepciyi-vprovadz-a152r.

[3]. DSTU ISO 19650:2020 *Organization and digitization of information on buildings and structures, including construction information modeling (BIM). Information management using construction information modeling. Part 1. Concepts and principles.* Part 2. Stage of construction (ISO 19650-1:2018, ISO 19650-2:2018 IDT) [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.iso.org/standard/68078.html

[4]. M. Shelbourn, J. Macdonald, T. McCuen, & S. Lee, "Students' perceptions of BIM education in the higher education sector: A UK and US perspective", *Industry and Higher Education*, 31(5), pp. 293-304, 2017. https://doi.org/10.1177/0950422217725962.

[5]. H. S. Kim, S. K. Kim, & L. S. Kang, "BIM performance assessment system using a K-means clustering algorithm", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20(1), 2020, pp. 78–87. https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1800471.

[6]. V. Croce, G. Caroti, A. Piemonte, M. Giorgio Bevilacqua, "From survey to semantic representation for Cultural Heritage: the 3D modelling of recurring architectural elements, *Acta IMEKO*, vol. 10, Issue 1, 2021, pp. 98-108, https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i1.842.

[7]. M. Capone, E. Lanzara, "Scan-to-BIM vs 3D ideal model HBIM: parametric tools to study domes geometry", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W9, Bergamo, February 2019, pp. 219-226. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-219-2019.

[8]. C. Dore, "Procedural Historic Building Information Modelling (HBIM) For Recording and Documenting European Classical Architecture", Unpublished Doctoral Thesis, DIT, Dublin, 2017. https://doi.org/10.21427/D7045G.

[9]. Filippo Diara, & Fulvio Rinaudo, Open source HBIM for cultural heritage: a project proposal. XLII-2. 303-309, 2018. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-303-2018.

[10]. M. Ludwig, G. Herbst, D. Rieke-Zapp, R. Rosenbauer, S. Rutishauser, A. Zell-weger, "The Advantages of Parametric Modelling for the Reconstruction of Historic Buildings", *The Example of the in War Destroyed Church of St. Catherine (Katharinenkirche) in Nuremberg*, February 2013, ISPRS Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. 2013;40(5)/W1:161–5. https://doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-161-2013.

[11]. L. Wang, M. Huang, X. Zhang, R. Jin, T. Yang, "Review of BIM Adoption in the Higher Education of AEC Disciplines", *Journal of Civil Engineering Education*, vol. 146, Issue 3, pp. 1-17, 2020. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000018

[12]. L. Henderson, & N. L. Jordan, "A modest proposal for a transdisciplinary curriculum for the design, construction, management and maintenance of architecture", *Journal of Building Information Modeling*, 35-37, 2009. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.brikbase.org/content/modest-proposal-transdisciplinary-curriculum-design-construction-management-and-maintenance

[13]. L. Scott, "The Changing Landscape of Construction Higher Education", *International Journal of Construction Education and Research*, Apr 2015, vol. 11(2), p. 78. https://doi.org/10.1080/15578771.2015.1022454

[14]. M. Pedersen, H.M. Hognestad, R. R.Helle, B.P. Jelle, The Challenge of Rehabilitating Relocated Listed Heritage Buildings: Requirements and Opportunities. Energy Build. 2023, 303, 113577. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113577.

[15]. R. Govender, G. Saba, N. Ham, L. Hou, S. Moon, & J. J. Kim, "Appraisal of building information modeling (BIM) curriculum for early-career construction-industry professionals: case study

at C educational institute in Korea", *International Journal of Construction Management*, 22(5), 891–89, 2019. https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1661069.

[16]. M. Murphy, E. McGovern and S. Pavia, (2009), "Historic building information modelling (HBIM)", Structural Survey, Vol. 27 No. 4, pp. 311-327. https://doi.org/10.1108/02630800910985108

[17]. Л. Іванова, "Завдання нарисної геометрії та інженерно-графічної підготовки фахівців в концепції впровадження BIM технології в будівництві", *Прикладна геометрія та інж. графіка*. Київ : КНУБА, №. 98, с. 48-56, 2020. https://doi.org/10.32347/0131-579x.2020.98.48-56.

[18]. О. Левченко, А. Михайленко, "Аспекти підготовки BIM-менеджерів", *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, №. 59, с. 118-31, 2019. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.59.118-131.

Матеріал надійшов до редакції 10.11.2024р.

THE APPLICATION OF HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELLING (HBIM) TECHNOLOGY IN TRAINING SPECIALISTS FOR WORKING WITH ARCHITECTURAL HERITAGE

Larisa Ivanova
PhD, Associate Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-3993-9176
ivanova.ls@knuba.edu.ua

Svitlana Botvinovska
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID ID0000-0002-1832-1342
botvinovska.si@knuba.edu.ua

Oleksii Levchenko
Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.) of Architecture, Associate Professor of the Department of Information Technologies in Architecture
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-5254-2114
levchenko.ov@knuba.edu.ua

Raddamila Kosarevska
Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.) of Architecture, Associate Professor of the Department of Design
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-1076-0364
kosarevska.ro@knuba.edu.ua

Abstract. The construction industry in Ukraine faces a number of interconnected challenges, the most critical of which is the lack of a systematic process for generating and exchanging digital data. The introduction of Building Information Modeling (BIM) in the architectural and construction field requires the training of qualified specialists at all levels. This technology can only become fully functional and widespread with a sufficient number of professionals capable of utilizing it throughout all stages of a building's life cycle.

The authors focus on identifying the tasks for improving architectural and construction education in the specific area of BIM – Heritage Building Information Modelling (HBIM). The relevance of their research is underscored by examples of the destruction of architectural monuments in Kyiv, Ukraine's capital, because of military aggression and the unqualified handling of unique structures by stakeholders at all levels. Analysis of global and European experiences in incorporating BIM into education reveals that digital technologies in the preservation of historical monuments have distinct features. These technologies constitute a separate case of information modeling, influencing the professional training requirements.

HBIM requires ongoing expansion of scientific and technical research into the geometry of virtual models of historical objects. HBIM professionals must have expertise in heritage preservation legislation, a deep knowledge of architectural history, and an understanding of construction techniques and materials used by architects of the past.
The authors say that HBIM can be integrated into higher education by creating a digital information space, teamwork and project-based learning, geometric and mathematical training, and professional skills and competencies.
While digital technologies expand opportunities, they also demand continuous professional development. The authors differentiate between training new specialists and retraining professionals accustomed to traditional technologies.
The qualification assessment of HBIM specialists involves testing and practical assignments. Such an approach to certification facilitates the successful implementation of HBIM in the construction industry.

Keywords: higher education institutions; educational programs; architectural and construction education; digital technologies; HBIM; Architectural Monuments.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

[1]. On approval of the Strategy for Digital Transformation of the Social Sphere: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine; Strategy of 28.10.2020 № 1353-p [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2020-%D1%80#Text (in Ukrainian)
[2]. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of February 17, 2021, No. 152-p, *The concept of implementation*. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80#Text. (in Ukrainian)
[3]. DSTU ISO 19650:2020 *Organization and digitization of information on buildings and structures, including construction information modeling (BIM). Information management using construction information modeling. Part 1. Concepts and principles*. Part 2. Stage of construction (ISO 19650-1:2018, ISO 19650-2:2018 IDT, [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/68078.html (in Ukrainian)
[4]. M. Shelbourn, J. Macdonald, T. McCuen, & S. Lee, "Students' perceptions of BIM education in the higher education sector: A UK and US perspective", *Industry and Higher Education*, 31(5), pp. 293-304, 2017. https://doi.org/10.1177/0950422217725962. (in English)
[5]. H. S. Kim, S. K. Kim, & L. S. Kang, "BIM performance assessment system using a K-means clustering algorithm", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20(1), 2020, pp. 78–87. https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1800471. (in English)
[6]. V. Croce, G. Caroti, A. Piemonte, M. Giorgio Bevilacqua, "From survey to semantic representation for Cultural Heritage: the 3D modelling of recurring architectural elements, *Acta IMEKO*, vol. 10, Issue 1, 2021, pp. 98-108, https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i1.842. (in English)
[7]. M. Capone, E. Lanzara, "Scan-to-BIM vs 3D ideal model HBIM: parametric tools to study domes geometry", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W9, Bergamo, February 2019, pp. 219-226. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-219-2019. (in English)
[8]. C. Dore, "Procedural Historic Building Information Modelling (HBIM) For Recording and Documenting European Classical Architecture", Unpublished Doctoral Thesis, DIT, Dublin, 2017. https://doi.org/10.21427/D7045G. (in English)
[9]. Filippo Diara, & Fulvio Rinaudo, Open source HBIM for cultural heritage: a project proposal. XLII-2. 303-309, 2018. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-303-2018. (in English)
[10]. M. Ludwig, G. Herbst, D. Rieke-Zapp, R. Rosenbauer, S. Rutishauser, A. Zell-weger, "The Advantages of Parametric Modelling for the Reconstruction of Historic Buildings", *The Example of the in War Destroyed Church of St. Catherine (Katharinenkirche) in Nuremberg*, February 2013, ISPRS Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. 2013;40(5)/W1:161–5. https://doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-161-2013. (in English)
[11]. L. Wang, M. Huang, X. Zhang, R. Jin, T. Yang, "Review of BIM Adoption in the Higher Education of AEC Disciplines", *Journal of Civil Engineering Education*, vol. 146, Issue 3, pp. 1-17, 2020. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000018. (in English)
[12]. L. Henderson, & N. L. Jordan, "A modest proposal for a transdisciplinary curriculum for the design, construction, management and maintenance of architecture", *Journal of Building Information Modeling*, 35-37, 2009. [Online]. Available: https://www.brikbase.org/content/modest-proposal-transdisciplinary-curriculum-design-construction-management-and-maintenance (in English)

[13]. L. Scott, “The Changing Landscape of Construction Higher Education”, *International Journal of Construction Education and Research*, Apr 2015, vol. 11(2), p. 78. https://doi.org/10.1080/15578771.2015.1022454. (in English).
[14]. M. Pedersen, H.M. Hognestad, R. R.Helle, B.P. Jelle, The Challenge of Rehabilitating Relocated Listed Heritage Buildings: Requirements and Opportunities. Energy Build. 2023, 303, 113577. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113577. (in English)
[15]. R. Govender, G. Saba, N. Ham, L. Hou, S. Moon, & J. J. Kim, “Appraisal of building information modeling (BIM) curriculum for early-career construction-industry professionals: case study at C educational institute in Korea”, *International Journal of Construction Management*, 22(5), 891–89, 2019. https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1661069. (in English)
[16]. M. Murphy, E. McGovern and S. Pavia, (2009), "Historic building information modelling (HBIM)", Structural Survey, Vol. 27 No. 4, pp. 311-327. https://doi.org/10.1108/02630800910985108 (in English)
[17]. L. Ivanova, “Tasks of descriptive geometry and engineering and graphic training of specialists in the concept of implementation of BIM technology in construction”, *Applied geometry and engineering graphics.* Kyiv : KNUBA, 2020, Issue 98, pp. 48-56, doi:10.32347/0131-579x.2020.98.48-56. (in Ukrainian)
[18]. O. Levchenko, A. Mikhailenko, "Aspects of training BIM managers". *Modern Problems of Architecture and Urban Planning*, vol. 59, pp. 118-31, March 2021. doi:10.32347/2077-3455.2021.59.118-131. (in Ukrainian)

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.