

**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА КЛЮЧОВІ МОМЕНТИ ПРИ ЗБОРІ ДАНИХ ТА СТВОРЕННІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ІСНУЮЧИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**CURRENT TRENDS AND KEY MOMENTS IN DATA COLLECTION AND CREATION OF INFORMATION MODELS OF EXISTING BUILDINGS AND THEIR INDIVIDUAL ELEMENTS**

**Кулік М.В.**, к.т.н., доц., ORCID.ORG /0000-0002-4880-5217, **Бобраков А.А.**, к.т.н., доц., ORCID.ORG /0000-0002-7915-2642, **Іщенко О.С.**, ст., вик., ORCID.ORG /0000-0003-0548-6081, **Іщенко О.Л.**, ст., вик., ORCID.ORG /0000-0002-4152-6135, **Іваненко Д.С.**, аспірант, ORCID.ORG /0000-0002-1635-1214, **Кравець Н.Г.**, студент ORCID.ORG /0000-0001-6379-3771 (Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя),

**Kulik M.V.**, candidate of technical sciences, associate professor, **Bobrakov A.A.**, candidate of technical sciences, associate professor, **Ishchenko O.S.**, assistant professor, **Ishchenko O.S.**, assistant professor, **Ivanenko D.S.** postgraduate, assistant, **Kravets N.G.** Student («Zaporizhzhia Polytechnic» National university, Zaporizhzhia)

**Розглянуті концепції збору інформації на основі ручного, приладового та 3D-лазерного сканування, процеси, способи, методики, завдяки яким, можна оптимізувати перенесення інформаційної складової від необробленого вмісту інформації до моделювання архітектурних, структурних і механічних систем. Проаналізовані базові засоби та комплексні робочі процеси, які можуть допомогти створити інформаційні моделі вже існуючих будівель, їх елементів, зокрема, нетрадиційних з деформованою геометрією, наприклад, історичних елементів.**

**The article considers and analyzes basic tools and complex work processes that can help create information models of already existing buildings, their elements, in particular, non-traditional ones with deformed geometry, for example, historical elements. Recently, in foreign experience, the generative process of creating digital models of building information modeling (building information modeling - BIM), which are focused on the digitization of already existing buildings, has been supported by a large number of practical and scientific works, the development of new modeling tools capable of effectively integrating data into the main modeling programs that are already known in Ukraine, such as Autodesk Revit. The considered concepts of information**

collection based on manual, instrument and 3D laser scanning, processes, methods, techniques, thanks to which it is possible to optimize the transfer of the information component from the raw content of information to the modeling of architectural, structural and mechanical systems. It should be noted that most of the researched works related to buildings and their elements in the context of historical information modeling of buildings, the so-called HBIM. Applying the technology of informational modeling can make the model parametric and form an integrated library of parametric components. Thus, the introduction of these aspects of digital technology in the construction process will provide an opportunity to study new methods of construction production and will be the basis for further research in the area under consideration. In addition, the prospects of creating already existing information models of buildings can be useful for the educational process in the universities of Ukraine, because they will set an innovative direction for the disciplines that are studied in the specialty 192.

**Ключові слова:**

Інформація, модель, будівля, елемент, перенесення, оптимізація  
Information, model, building, element, transfer, optimization

**Вступ.** Підходи BIM для існуючих будівель та їх елементів ще не є добре відомими і глибоко досліджуваними процесами в Україні. Накопичення знань в сфері оптимізації та перенесення інформаційної складової вже існуючих об'єктів у програмні комплекси, що їх моделюють, завдання їм відповідних інформаційних параметрів, повинно дати імпульс з поглиблення та розуміння цілісної та загальної картини у ключових питаннях з впровадження різних елементів BIM у будівельну галузь. Створення сучасних моделей і цифрових архівів на базі вивчення сучасної матеріальної бази, та аналізу процесів перетворення інформації, повинно призвести до удосконалення прийняття ефективних архітектурних та управлінських рішень, безпосередньо, при виконанні проектних робіт, експлуатації та управлінні, проведенні реконструкцій та ремонтів, для звичайних і маючих історичну цінність будівель.

Моделювання в середовищі BIM існуючих будівель вимагає особливої уваги, оскільки існують дві діаметрально протилежні можливості. З одного боку, спроба полягає в тому, щоб реалізувати дуже складну і точну модель, щоб забезпечити якомога повніше представлення інформаційної моделі будівлі. Протилежна позиція веде до побудови дуже схематичної та символічної моделі, що була збудована. Непросто визначити правильний баланс між цими двома підходами, оскільки кожний інформаційний елемент, зокрема архітектурний, вимагає індивідуального підходу, подальший аналіз, зокрема різних підходів, повинно призвести до створення на їх базі

відповідної нормативної бази. Треба зазначити, що ці дві протилежні можливості, ці підходи, мають справу з різними цілями та інструментами.

У сфері реставрації або планової консервації, що є найпоширенішим підходом до існуючих історичних будівель, увага зосереджується на винятках і особливостях кожної архітектури, важливим аспектом є розуміння та опис точно кожної частини як унікальної. У цьому контексті дуже важко знайти стандартне чи загальне рішення. В історичній складній архітектурі, наприклад, дуже важко знайти пряму і рівну стіну [5].

**Стан питання та задачі дослідження.** Проблематиці особливостей процесів збору інформації із вже існуючих будівель та їх елементів, для перетворення її у інформаційні моделі, присвячені роботи вчених Італії, Англії, Китаю та ін. [1-18]. Аналізу окремих засобів безпосереднього збору, багато уваги приділено у роботах вчених з Італії [1-7,9-11]. Крокам із систематизації трансформації та введення її у відповідні програмні комплекси, приділена увага у великій кількості іноземних та деяких вітчизняних роботах [1-12,14-19].

**Метою** даної роботи є систематизація засобів та процесів із збору та отримання підготовленої інформації із вже існуючих будівель та їх елементів, для її трансформації у програмних комплексах. Розглянути визначені прийоми оптимізаційних рішень роботи із засобами 3D-моделювання геометричних моделей на базі отриманої інформації, включаючи систематизацію теоретичних засад із створення 3D-баз даних існуючих будівель.

**Виклад основного матеріалу.** Створення інформаційної моделі для нової будівлі простіше ніж для існуючих, особливо це стосується історичних будівель та їх елементів. Говорячи про роботу у Autodesk Revit, при роботі з новими будівлями або спорудами, робота може зводитись до створення параметричних моделей [19]. Якщо торкатися питання робіт з існуючими будівлями, створення BIM базується на точному знанні будівельної конструкції, роботи зводиться до створення нових сімейств у тому числі параметричного моделювання, але інструментарій створення не завжди має потрібні елементи для моделювання складних моделей.

Робота зі складними архітектурними формами вже існуючих будівель базується на використанні передових 3D-технологій, генерація параметричної моделі виконується за допомогою 3D-зйомки (наземної та БПЛА) [13,16], яка часто виконується за допомогою технології лазерного сканування або сучасної фотограмметрії, для подальшої трансформації інформації та її інформаційного моделювання у програмних комплексах, так званий «Scan to BIM» [1,3-5,8-11,15]. Технології лазерного сканування можуть гарантувати адекватну хмару точок з точки зору роздільної здатності та повноти інформаційної складової, збалансовуючи витрати часу та витрати щодо запиту, щодо остаточної точності.

Лазерний сканер і набір фотограмметричних хмар точок можуть фіксувати складні форми історичних споруд. Хмари точок, що містять складні геометрії, можна імпортувати в програмне забезпечення BIM для візуалізації, документування та моделювання. Звичайні об'єкти з простою геометрією можна моделювати за допомогою доступних сімейств пакетів BIM, призначених головним чином для нових конструкцій. Ці попередньо визначені сімейства об'єктів роблять BIM-моделювання для нерегулярної структури досить трудомістким і складним процесом. Етапи, які беруть участь у моделюванні складної форми в програмному забезпеченні BIM, відрізняються та ширші порівняно з типовим процесом моделювання нової збірки. Сімейство об'єктів і параметричних атрибутів BIM не можна застосовувати безпосередньо до складної геометрії, знятої лазерним сканером і фотограмметричними хмарами точок. Обмеження програмного забезпечення можуть змусити користувача спростити складні архітектурні елементи під час процесу моделювання, що призведе до дефектних моделей BIM [3].

Сьогодні є кілька варіантів з повним або окремим процесом автоматизації, процесів збору інформації з існуючих будівель та їх елементів для створення інформаційних моделей:

1) Передова сучасна геодезія з напівавтоматичними пристроями (тахеометри часто з камерою та можливостями сканування).

2) лазерне сканування (рис.1 (1 - Terrestrial Laser Scanner FARO, Leica BLK360)).

3) мобільне лазерне сканування (зовнішніх поверхонь будівель або лінійних конструкцій і мостів) за допомогою спеціального інструменту, що монтується на автомобільній базі з ІНС (інерціальна навігаційна система), (рис.1 (2 - Lynx)).

4) мобільне лазерне сканування всередині приміщень (внутрішні частини будівель) за допомогою ручного обладнання або спеціального візка з використанням інерційного блоку, (рис. 1 (3 - внутрішні лазерні сканери (GEO Slam) Zeb REVO (ліворуч), Faro)).

5) цифрова фотограмметрія перехресть (моделювання та візуалізація на основі зображень), аерофотознімки, дрони тощо [2,16].

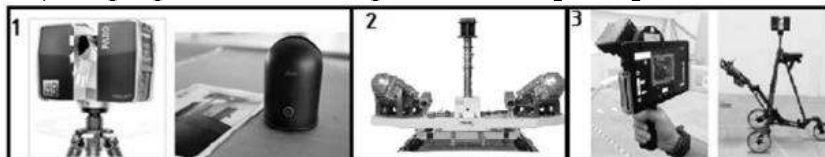


Рис 1. 1 - розклади сканера Laser (Terrestrial Laser Scanner FARO, Leica BLK360); 2 - мобільний лазерний сканер (Lynx); 3 - внутрішні лазерні сканери (GEO Slam) Zeb REVO (ліворуч), Faro (праворуч)

Цікавим питанням інформаційного моделювання вже існуючих будівель є визначення національних параметрів, інструкцій та специфікацій, які можуть ієрархізувати якість моделі продукту та можуть одночасно надати

точну інформацію різним користувачам про фактичні умови, які потрібні для створення готового продукту.

У 2008 році Американський Інститут Архітектури (AIA) розвинув концепцію LOD у вигляді протоколу AIA E202-2008, Building Information Modeling Protocol Exhibit (типова форма додатку до договору на проект BIM). На сьогоднішній день діють удосконалені версії цього протоколу: AIA E203-2013 Building Information Modeling and Digital Data Exhibit та AIA Contract Document G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form [23].

Рівень опрацювання LOD (Level Of Development) – набір вимог, що визначає повноту опрацювання елемента цифрової інформаційної моделі. Рівень опрацювання визначає мінімальний обсяг геометричних, просторових, кількісних, а також будь-яких атрибутивних даних, необхідних для вирішення завдань інформаційного моделювання на конкретній стадії життєвого циклу об'єкта.

Система рівнів опрацювання LOD повинна використовуватися для:

- для сприяння всім учасникам проекту, для однозначного розуміння та конкретизації необхідних результатів робіт з інформаційного моделювання;
- Для планування процесу інформаційного моделювання.

Система рівнів опрацювання включає п'ять базових рівнів опрацювання: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500, що характеризують процес розробки елемента від концептуального до стану закінченого будівництвом об'єкта. Вимоги до рівнів опрацювання мають уточнюючий характер, тобто визначення кожного наступного рівня опрацювання елемента уточнює та доповнює визначення всіх попередніх рівнів. BIM може містити елементи у різних рівнях опрацювання.

У різних країнах рівні деталізації LOD та рівні інформації були визначені з метою передачі умов (морфологічних і типологічних) виготовлених моделей. Розширення методів моделювання (PMT) вимагає високого рівня знань і може бути належним інструментом для генерації складних елементів за допомогою «Scan to BIM». Однією з проблем «Scan to BIM» є труднощі, які створюють параметричні програми для створення складних і неправильних форм, у той же час зберігаючи високий рівень точності між хмарами точок і 3D-об'єктами. Щоб краще зрозуміти труднощі реінжинірингу необхідно розглянути різні, але характерні для нашої країни програми моделювання, доступні на ринку, такі як Graphisoft ArchiCAD, Autodesk Revit та ін. Кожна програма дозволяє створити цифрову модель тієї самої будівлі.

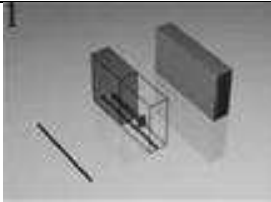
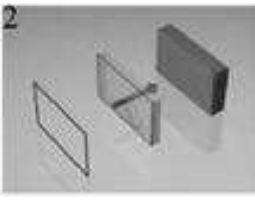


Набір інструментів моделювання в Autodesk Revit характеризується обмеженою кількістю функцій, які дозволяють створювати найбільш часто використовувані BIM-об'єкти, такі як двері, вікна, прості стіни, стеля та дахи. Ці функції представляють перші вісім класів поколінь і не дозволяють створювати складні BIM-об'єкти з набору точок.

Складність у реалізації вже існуючих будівель, особливо це стосується історичних будівель та відсутність 3D-об'єктів, що відповідають історичним елементам у бібліотеках інформаційного моделювання, вимагають створення моделей за допомогою обмеженої кількості інструментів моделювання, що потребує тривалих фаз моделювання під час процесу генерації.

У 2017 році дослідження Фабріціо Банфі з Міланського політехнічного університету у напрямках інформаційних систем моделювання та управління, рівней генерації, рівней інформації та рівней точності, дозволило закласти наукову та операційну основу (таблиця. 1), для визначення нових вимог до моделювання, здатних збирати різні джерела даних, такі як дані збору 3D-даних і 2D-креслення CAD, і перетворювати їх у точну модель на базі сканування елементів будівель для інтеграції зручних для користувачів методів моделювання у програмному забезпеченні BIM [14,15].

Таблиця 1.

Класи генерації (КГ) для існуючих будівель

Візуалізація генерації складного 3D-об'єкту	Класи генерації 3D-об'єктів
1	2
	КГ 01 - Екструзія розширює форму прямої лінії вздовж ортогонального напрямку. Він представляє перший рівень генерації 3D-параметричних об'єктів у програмних комплексах.
	КГ 02 - Налаштування профілю, розширює форму вертикального профілю в паралельному напрямку для площини в просторі. Можна редагувати профіль і мати пряме оновлення форми об'єктів. Він представляє другий рівень генерації 3D-параметричних об'єктів у програмних комплексах.
	КГ 03 - Редагування профілю із порожнинами, розширює форму кількох профілів у ортогональному напрямку. Можна редагувати його профіль і створювати порожні простори. Це представляє третій рівень генерації 3D параметричних об'єктів у програмних комплексах.
	КГ 04 - Редагування розширенням форми двох профілів у певних напрямках. Можна додавати нові профілі та створювати 3D об'єкти з різними геометричними примітивами. Він являє собою четвертий рівень генерації для 3D-параметричних об'єктів у програмних комплексах.

	<p>КГ 05 - Редагування видавлюванням профілю по довгому шляху. видавлювання другого профілю дозволяє отримати об'ємне віднімання (виріз) основного об'єкту. Це являє собою п'ятий рівень генерації для параметричних об'єктів.</p>
	<p>КГ 06 - Екструзія нерегулярного профілю розширює неправильну форму профілю. Екструзія нерегулярного профілю дозволяє отримати більшу складність. Він представляє шостий ступінь генерації для параметричних об'єктів.</p>
	<p>КГ 07 — Обертання створює форму, обертаючи профіль навколо осі. Він представляє сьомий рівень генерації для 3D-параметричних об'єктів у програмі BIM .</p>
	<p>КГ 08 – Змішування створює суміш, яка розгортається вздовж визначеної траєкторії . Форма визначається двома профілями . Кожен клас генерації дозволяє використовувати пустоти , щоб видалити частину основного 3D-об'єкта. Він представляє восьмий клас генерації.</p>
	<p>КГ 09 - НРБС з 3D-каркасу. Програми НРБС дозволяють генерувати неправильні форми. Вони контролюються дозованим краєм екстенора та кривими внутрішнього перетину . У програмі BIM можна реалізувати об'єкт 30 із відповідною товщиною, вибравши попередньо виготовлену поверхню НРБС.</p>
	<p>КГ 10 - НРБС з набору точок . Перевірений метод дозволяє генерація неправильних форм, що інтерполюють дозований зовнішній край. У програмі інформаційного моделювання можна реалізувати об'єкт із відповідною товщиною, вибравши попередньо створену НРБС поверхонь</p>

Зокрема, було інтерпретована відсутність функцій нерівномірних раціональних базисних сплайнів (НРБС, на англійській мові NURBS), здатних інтерполювати хмари точок (КГ 10), і відсутність інструментів, здатних автоматично витягувати геометричні примітиви зі зрізів (КГ 9) у програмних комплексах, як найбільш критичні бар'єри для створення інформаційних моделей потрібної якості [14].

Десять КГ поділяються на дві категорії:

- перші вісім ступенів генерації відповідають функціям моделювання, інтегрованим у програму BIM.

- останні два класи (9-10) генерації відповідають двом новим передовим методам моделювання (нарізка та автоматична інтерполяція), здатним перетворювати щільні хмари точок у цифрову параметричну модель.

Отже, перші вісім КГ чітко пояснюють, як створити стіну в Autodesk Revit. КГ визначають методи та вимоги, які використовуються для покращення якості моделей BIM. Складність будівельної спадщини та створення нерегулярних стін наразі передбачає пряме вставлення об'єкта стіни в тривимірний простір через КГ 01. Згодом через КГ 02, 03, 04 можна моделювати та підвищувати рівень деталізації (LOD) моделей.

З іншого боку, коли хмари точок виражають об'ємні нерівності та складну геометрію, для досягнення вищого LOD, використання КГ 09 та КГ 10 є вирішальним.

КГ 09 — це процедура моделювання, яка узагальнює відому техніку нарізки об'ємного 3D елемента. Традиційний процес створення 2D-моделей і креслень САПР в основному базується на ручному вилученні поперечних перерізів із хмар точок. Розрізи, які зазвичай використовуються для технічних креслень, використовуються, як генеруюча основа для тривимірного моделювання в цифровому просторі. Натомість КГ 09 обходить 2D-креслення та дозволяє створювати складні моделі шляхом автоматичного вилучення геометричних примітивів. КГ 09 базується на генерації НРБС з 3D каркасу. Вони контролюються замкнутим зовнішнім краєм і кривими внутрішнього розрізу. У додатку BIM можна реалізувати 3D-об'єкт (зеленого кольору) із відповідною товщиною, вибравши попередньо створену поверхню НРБС (синього кольору). На рис. 2 показано додаток КГ 09 для деяких складних склепінчастих систем [8]. Процедура моделювання складається з чотирьох етапів:

- 1) Створення закритого зовнішнього краю.
- 2) Витяг кривої внутрішнього розрізу.
- 3) Автоматична генерація поверхні НРБС (50x50 UV (UV-перетворення чи розгортка у тривимірній графіці, на англійській мові UV map, — це відповідність між координатами на поверхні тривимірного об'єкта (X, Y, Z) та координатами на текстурі (U, V)).
- 4) Параметризація поверхні НРБС в об'єкті BIM.

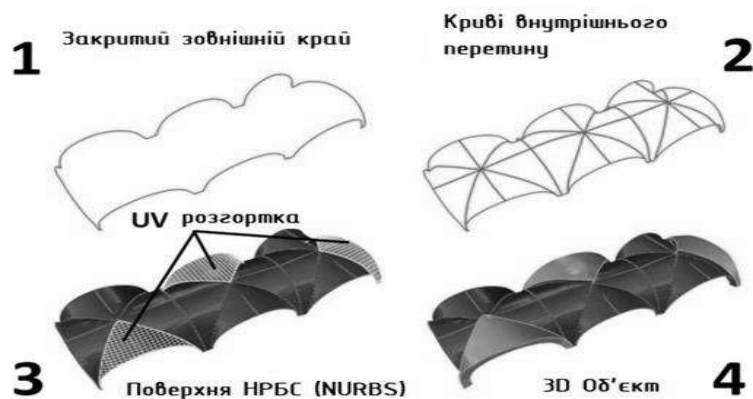


Рис. 2. КГ 09: автоматичне вилучення належних геометричних примітивів (1-2) для генерації моделі НРБС (3) і подальшої автоматичної генерації складного об'єкта Scan-to-BIM (4)



КГ 10 — це триетапна процедура моделювання, яка дозволила скоротити час, необхідний для створення інформаційної моделі вже існуючої будівлі. Створення внутрішніх кривих, здатних замінити неправильні внутрішні форми неправильних елементів, було замінено двома вимогами. Геометрія може підтримувати високу точність. Зокрема оцифрування вимагає зручного для користувача методу моделювання, здатного перехоплювати геометричні та структурні аномалії, успадковані від існуючих елементів. З цієї причини КГ 10 має бути першочерговою вимогою для створення історичних та унікальних елементів. КГ 10 — це процедура моделювання, здатна генерувати НРБС із набору точок. Алгоритми інтерполяції NURBS змогли створити складні поверхні, які інтерполюють велику кількість точок 3D-сканування. Після перетворення хмари точок на поверхню НРБС шляхом визначення конкретних форматів обміну (.sat, .dwg) можна параметризувати поверхню НРБС у Autodesk Revit. На рис. 3 показано застосування КГ 10 у складній системі зі склепінчастими ємностями.

Процедура моделювання складається з трьох кроків:

- 1) Створення закритого зовнішнього краю.
- 2) Автоматична генерація поверхні НРБС (50x50 UV).
- 3) Параметризація поверхні НРБС в об'єкті BIM.

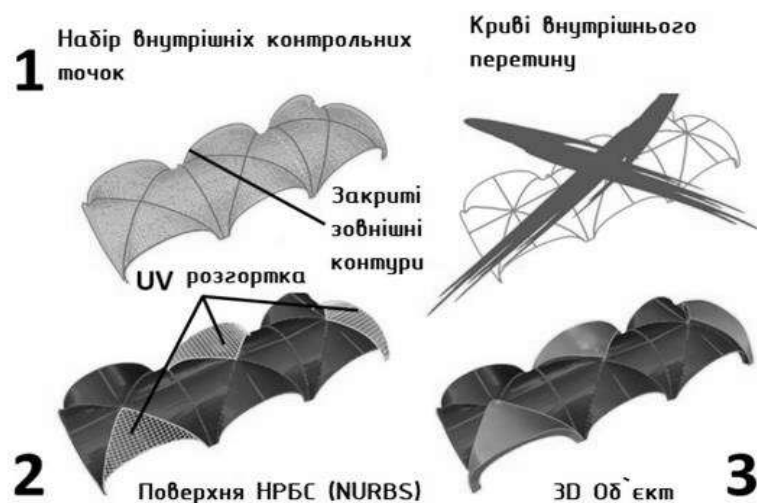


Рис. 3. КГ 10: дозволяє створювати будь-які склепіння з генерацією точності 1 мм із 3D-сканування (1), автоматичне створення 3D-об'єктів (3) з моделі НРБС (2) у Revit

Цікавим підходом до створення інформаційних моделей з відповідними робочими методами та робочими процесами були представлені фахівцями з Тяньцзінського університету Китаю на базі тематичного дослідження двох будівель у Літньому палаці Пекіна та перевалу Цзяюйгуань на західному кінці Великої стіни (обидва є об'єктами Всесвітньої спадщини) [6,7].

Для збору даних та їх оптимальної обробки, було запропоновано «метод структури та типу» за допомогою типологічного методу, що

використовується в археології, створення відповідної системи сімейств у Autodesk Revit, для реалізації оптимальної координації між розумінням історичних будівель та їх моделюванням BIM.

Поняття родини та типу, які все ще використовуються безпосередньо з Revit, пов'язані з принципом Revit, який також є однією з найважливіших ланок у всьому процесі зняття та обробки інформаційної складової, являє собою основну ідею моделювання в Revit, яка збирає компоненти відповідно до тектонічної логіки побудови в «менеджері проекту». Водночас ці компоненти повинні мати систему класифікації, яку можна описати як «категорія-сімейного стилю» шар за шаром. Серед них сімейство є найважливішою. У Revit сім'я незамінна, оскільки інформаційна модель не може існувати без сім'ї. Іншими словами, під час моделювання в Revit абсолютно необхідно класифікувати компоненти. Таким чином, виходячи з вимог обстеження та вимірювання історичних будівель, слід проводити організовану класифікацію вимірюваних компонентів, як їхні власні характеристики історичних будівель, за допомогою типологічних методів [6,7].

Послідовність виконання процесів «методу структури та типу» можна представити таким чином:

1) Зняти існуючої будівлі в 3D на основі методів, які використовуються в археології, створені сімейств у Autodesk Revit, тектонічної логіки будівель, розглядаючи кожен компонент або частину як єдине ціле.

2) Накреслити «просторово-структурну дендрограму» (скорочено «дерево структур») і «компонентну дендрограму типу» (скорочено «дерево типів»).

3) Виконати ескізи та записи на основі дерева структури та використати для зміцнення розуміння та підтримки збору даних і моделювання BIM.

Треба зазначити, що структурне дерево, через розміщення кожного компонента в його «стратифікації», відображає структуру, артикуляцію та просторове співвідношення між компонентами. Дерево типів, опускаючи просторові зв'язки компонентів, головним чином відображає типологічний зв'язок між компонентами, і, по суті, є індукцією дисперсійних компонентів відповідно до їх форми та розміру тощо. Дерево структури (рис. 4) більше не обмежується двовимірними малюнками, що забезпечує добре розуміння тектонічної логіки забудови. А дерево типів (рис. 4) можна скласти після вертикального та горизонтального порівняння подібних компонентів, що може допомогти дослідити стиль будівництва, вік, регіональні успадковані характеристики на вищому рівні.

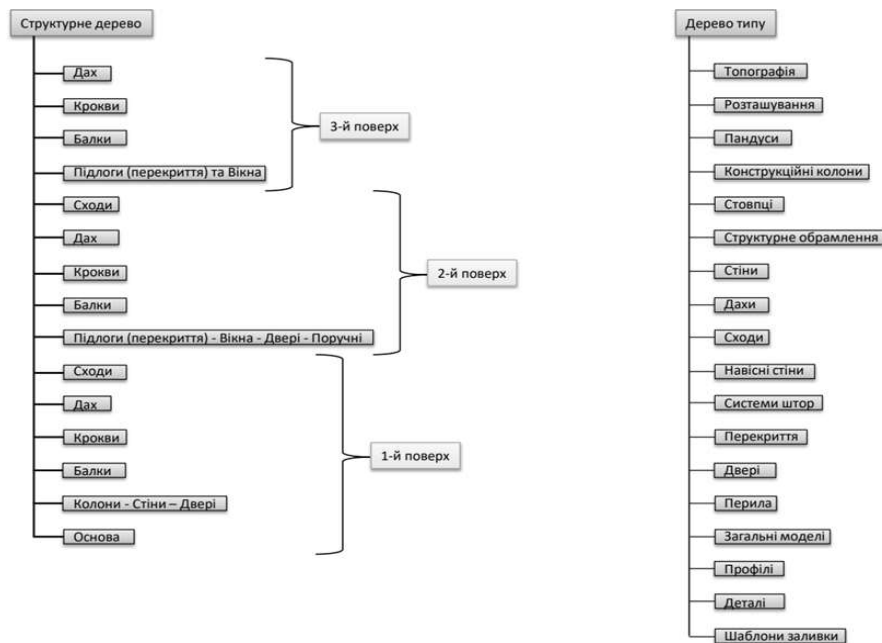


Рис. 4. Структурне дерево та дерево типу

Грунтуючись на прикладі двох будівель у Літньому палаці Пекіна та на перевалі Цзяюйгуань, робочий процес у остаточному вигляді представлено таким чином:

1) Створити, накреслити структурне дерево шляхом спостереження, аналізу та запису компонентів з їхніх еталонних зв'язків крок за кроком, а потім розробити ескізи.

2) Завершити та об'єднати структурне дерево з деревом типів і змінювати один одного під час порівняння.

3) Перевірити типові деталі на основі двох дерев.

4) Перевірити та вдосконалити два дерева з вимірними даними та підготуватися до «сімейного плану» для BIM-моделювання в Revit.

5) Удосконалити та сформувавши схему та звіт попереднього дослідження та підготуватися до BIM-моделювання.

Основні результати включають: структурне дерево та дерево типів, ескізи, дані вимірювань (складаються з ручних і приладових даних, а також хмари точок через лазерне сканування), відповідну інформацію про атрибути та інформацію про зображення тощо. Ієрархічні вузли виглядають таким чином: одиниці - групи компонентів - компоненти - родина - тип. Класифікація ієрархічного порядку кожного компонента та узагальнення його, як сімейства та типу, дозволяє відобразити структуру, артикуляцію та просторове співвідношення.

Підсумовуючи, структурне дерево – це відображення всього процесу будівництва будівлі на основі тектонічної логіки будівель і перехід від традиційних 2D-малюнків до 3D-моделей. Дерево типів, засноване на типологічних методах, що використовуються в археології, може бути

застосоване до різних стилів будівель, груп, регіонів і навіть у більших областях. Це новий спосіб переходу від 2D до 3D результатів за допомогою «методу структури та типу», щоб реалізувати хорошу координацію між розумінням історичних будівель та моделюванням BIM, щоб спостерігати, аналізувати та записувати виміряні будівлі, робити нотатки огляду, і розробити сімейну бібліотеку Revit для історичних будівель. Його академічна цінність неоціненна, коли він використовується як ідентифікація простору-часу, розподілу та еволюції. У той же час каркасна модель для інформаційного індексу, створена в Revit, може безпосередньо служити для керування записом інформації, обстеженням і розробкою проекту, будівельною документацією та ін.

Сучасними тенденціями у інформаційному моделюванні будівель у останні роки стала робота з API (Application Programming Interface або «програмний інтерфейс додатків») — опис способів (набір класів, процедур, функцій, структур або констант), якими одна комп'ютерна програма може взаємодіяти з іншою програмою. Часто реалізується окремо програмної бібліотекою або сервісом операційної системи. Користується програмістами при написанні всеможливих додатків. API служить засобом для створення власних інструментів і функцій, які вбудовуються в середу Autodesk Revit і розширюють можливості цього продукту. В Autodesk Revit є також NET API, це означає, що користувач може застосовувати будь-яку мову програмування, що використовує платформу.

Правильний процес сканування в BIM вимагає використання кількох програмних програм для моделювання, таких як Agisoft Photoscan, Autodesk Recap, Autocad, Revit і Mc Neel Rhinoceros, щоб запобігти зайвої роботи є можливість розробки надбудов на базі Autodesk Revit. Саме API дозволяють розробити надбудови для Autodesk Revit, що можуть складатись з розділів, які групують і вдосконалюють процес Scan-to-BIM через ієрархію внутрішніх функцій Revit, створення нових функцій, що реалізовані на базі API Revit, і комбіновані розробки кількох інструментів Revit.

Сучасні надбудови на базі API Revit дозволяють оптимізувати роботу та виконувати основні цілі для кожного окремого процесу трансформації інформаційної складової, зокрема:

1) Керування скануванням: для полегшення імпорту 3D-сканування та підтримки налаштування проекту Revit для процесу Scan-to-BIM.

2) Моделювання (КГ) : для інтеграції КГ (9 і 10) в архітектуру Revit і скерування користувачів у створенні складних стін і історичних елементів за допомогою генеративного моделювання.

3) Генерація бази даних (КГ): для автоматизації створення бази даних і додавання нових користувацьких параметрів.

4) Рівні сумісності: для визначення нових форматів обміну та передачі моделі NBIM для аналізу на основі BIM.

**Висновки.** Підхід, який використовувався для створення BIM, був переважно ручним, починаючи з ідентифікації конструктивних елементів та їх оцифрування через криві, поверхні та параметричні об'єкти BIM. Робочий процес BIM провідних програм для параметричного моделювання показує, що застосування BIM для існуючих та що важливо історичних будівель та споруд зі складною формою є ручним процесом, який слід вивчати в кожному конкретному випадку, щоб виконати ефективний і точний процес моделювання для будинків та їх структур з неправильною геометрією.

Провідне параметричне програмне забезпечення в сучасній індустрії тривимірного моделювання Autodesk Revit може створювати відносно точні складні геометрії за допомогою параметричних атрибутів, але цей процес тривалий і може вимагати інтеграції іншого програмного забезпечення. Для забезпечення сталого, оптимізованого, та напівавтоматизованого процесу створення параметричних моделей з інформаційних складових лазерного сканування, говорячи про роботу безпосередньо у програмному комплексі Autodesk Revit, потрібні надбудови на базі API Revit, які дозволять пришвидшити роботу зі складними архітектурними елементами. У свою чергу, процеси створення надбудов потребують навичків з роботи у високорівневих мовах програмування загального призначення.

Для того, щоб максимально відповідати реальності, контексти вже існуючих будівель та їх елементів мають бути досліджені за допомогою технологій високої чіткості, які призначені для збору даних про морфологію та стан збереження елементів.

Щільні хмари точок вважаються дійсним цифровим замінником, спрямованим на точне відображення реальності. Їх можна використовувати як вихідні дані з активних або пасивних фотограмметричних методів. Комп'ютерні 3D-моделі, створені таким чином, можуть бути корисними для цілей документування, для періодичних перевірок збереження конструкцій і для вивчення технологічних будівельних систем в історії архітектури.

Однак хмари точок не є структурованими сутностями, вони записуються без топології та семантичної дискретності.

Навпаки, BIM вимагає чітко визначених взаємозв'язків між компонентами, які називаються « розумними » через знання їхнього взаємного розміщення.

Імпортування неструктурованих наборів даних у програмне забезпечення BIM все ще є складним процесом, але певного прогресу можна досягти за допомогою спеціальних плагінів, та надбудов.

Застосування технології інформаційного моделювання вже існуючих будівель може зробити модель параметричною та сформувати інтегровану бібліотеку параметричних компонентів. Порівняно з попередніми двовимірними малюнками та фотографіями, він є більш повним у колекції та представленні та має більш обґрунтовані та уніфіковані критерії класифікації. При цьому типологічна думка проходить через весь процес моделювання.

Можна зробити висновок, що це можливий робочий процес від методу структури та типу до побудови сімейства Revit до конкретних досліджень і застосування. Навіть якщо це було розроблено для нових будівель, типове ставлення BIM до збору даних про компоненти та зв'язування їх на основі їхньої самосвідомості та семантики можна також успішно застосувати до існуючих архітектур.

1. Castagnetti, C., Dubbini, M., Ricci, P. C., Rivola, R., Giannini, M., and Capra, A.: Critical Issues and Key Points from the Survey to the Creation of the Historical Building Information Model: the Case of Santo Stefano Basilica, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W1, 467–474, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-467-2017>, 2017.

2. Pavlovskis, M., Migilinskas, D., Antucheviciene, J., Kutut, V.: Ranking of Heritage Building Conversion Alternatives by Applying BIM and MCDM: A Case of Sapieha Palace in Vilnius. *Symmetry* 2019, 11, 973. <https://doi.org/10.3390/sym11080973>

3. Oreni, D., Karimi, G., and Barazzetti, L.: Applying Bim to Built Heritage with Complex Shapes: the Ice House of Filarete's Ospedale Maggiore in Milan, Italy, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 553–560, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-553-2017>, 2017

4. Baik, A., Yaagoubi, R., and Boehm, J.: Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for Documentation and Restoration of Historical Monument, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W7, 29–34, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015>, 2015.

5. Adami, A., Scala, B., and Spezzoni, A.: Modelling and Accuracy in a Bim Environment for Planned Conservation: the Apartment of Troia of Giulio Romano, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W3, 17–23, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-17-2017>, 2017.

6. Li, K., Li, S. J., Liu, Y., Wang, W., and Wu, C.: Coordination between Understanding Historic Buildings and BIM Modelling: A 3D-OutputOriented and typological Data Capture Method, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W7, 283–288, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-283-2015>, 2015.

7. Li, D. Y., Li, K., and Wu, C.: The Application of Typology Method in Historical Building Information Modelling (hbim) Taking the Information Surveying and Mapping of Jiayuguan Fortress Town as AN Example, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 451–458, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-451-2017>, 2017.

8. Banfi, F.: Hbim Generation: Extending Geometric Primitives and Bim Modelling Tools for Heritage Structures and Complex Vaulted Systems, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W15, 139–148, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-139-2019>, 2019.

9. Garagnani, S. and Manferdini, A. M.: Parametric Accuracy: Building Information Modeling Process Applied to the Cultural Heritage Preservation, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W1, 87–92, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-87-2013>, 2013.

10. Pavelka, K., Matoušková, E., and Pavelka jr., K.: The Contribution of Geomatic Technologies to Bim, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W3, 85–89, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W3-85-2019>, 2019.

11. Pocobelli, D. P., Boehm, J., Bryan, P., Still, J., and Grau-Bové, J.: Building information models for monitoring and simulation data in heritage buildings, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2, 909–916, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-909-2018>, 2018.
12. Historic England 2017 BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage/> (application date: 05.07.2022).
13. Осиченко Г. О. Сучасні тенденції в реставрації пам'яток архітектури. Містопланування та територіальне планування. К. : КНУБА, 2022. Вип. 79 С.283-295. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.283-295>
14. Banfi, F.: Bim Orientation: Grades of Generation and Information for Different Type of Analysis and Management Process, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 57–64, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>, 2017
15. Banfi, F.: The Integration of a Scan-To Process in Bim Application: the Development of AN Add-In to Guide Users in Autodesk Revit, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11, 141–148, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-141-2019>, 2019
16. Білошицька Н. І., Татрченко З. С., Ревека А.В., Лобко Д. І. Аналіз сучасних методів проведення технічного обстеження будівель та споруд. Містопланування та територіальне планування. К. : КНУБА, 2022. Вип. 79 С.45-56. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.45-56>
17. 3D Laser Scanning and Revit Design Workflow  
URL: [https://www.autodesk.com/autodesk-university/ru/forge-content/au\\_class-urn%3Aadsk.content%3Acontent%3A17023d55-b7d5-4cb3-8d0d-c7a79bb68717#handout](https://www.autodesk.com/autodesk-university/ru/forge-content/au_class-urn%3Aadsk.content%3Acontent%3A17023d55-b7d5-4cb3-8d0d-c7a79bb68717#handout) (дата звернення: 02.07.2022).
18. Creating 2D/3D As-Built Models from Point Cloud for Huge Special-Use Buildings  
URL: [https://www.autodesk.com/autodesk-university/ru/forge-content/au\\_class-urn%3Aadsk.content%3Acontent%3Ab68dd4d7-d4a5-4782-a3f1-d338cce7a39e#handout](https://www.autodesk.com/autodesk-university/ru/forge-content/au_class-urn%3Aadsk.content%3Acontent%3Ab68dd4d7-d4a5-4782-a3f1-d338cce7a39e#handout) (дата звернення: 07.07.2022).
19. Гладка К. І., Бочарова Н. П. Побудова проміжної опори моста як параметричного об'єкта за допомогою Autodesk Revit. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2017. № 4. С. 129-140. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/109648>
20. UK BIM Framework. The overarching approach to implementing BIM in the UK. URL: <https://www.ukbimframework.org/resources/> (дата звернення: 12.06.2022).
21. Zigurat Global Institute of Technology. BIM in the UK: Success in progress. URL: <https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-in-the-uk/> (дата звернення: 14.06.2022).
22. Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents. URL: <https://oliebana.files.wordpress.com/2014/02/aiab095711.pdf> (application date: 08.07.2022).