

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями  
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії  
(назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ  
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ**

Ніколаєнко Дмитро Вадимович  
(прізвище, ім'я, по батькові студента повністю)

Київ 2020 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями  
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії  
(назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
проф., д-р. техн.наук Карпінський Ю.О.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТІВ  
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ**

Виконав: студент групи ПІСТ-61  
спеціальності 193  
“Геодезія та землеустрій”  
спеціалізації “Геоінформаційні системи і  
технології”  
Ніколаєнко Дмитро Вадимович  
Керівник: Горковчук Ю.В.,  
доцент, к.т.н.

Київ 2020 р.

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії

Освітній рівень: «магістр за ОПП»

Спеціальність: 193 “Геодезія та землеустрій”

Спеціалізація: “Геоінформаційні системи і технології”

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

доц. к.т.н. Нестеренко О. В.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

## З А В Д А Н Н Я ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Ніколаєнко Дмитро Вадимович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. **Тема роботи:** Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини

затверджена наказом ректора КНУБА № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

2. **Керівник роботи:** доц. к.т.н. Горковчук Юлія Вікторівна

3. **Строк подання студентом роботи до захисту:** 07.12.2020

4. **Зміст пояснювальної записки за розділами:**

Вступ

Розділ 1. Аналіз технології ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини

1.1. Сучасний стан ВІМ моделювання та перспективи в Україні

1.2. Моделювання об'єктів культурної спадщини

1.3. ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини

Розділ 2. Методичні засади ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини

2.1. Технологія ВІМ моделювання

2.2. Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини.

2.3. Структурна модель бази геопросторових даних моделювання об'єктів культурної спадщини

Розділ 3. Дослідне опробування методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини

3.1. Характеристика об'єкта дослідження

3.2. ВІМ моделювання об'єкта дослідження

3.3. Оцінка точності ВІМ моделі

Висновки

Список використаних джерел

## 5. Графічний матеріал за розділами

Технологічна схема ВІМ моделювання

Методика ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини

Структурна модель бази геопросторових даних моделювання об'єктів культурної спадщини

ВІМ модель об'єкта дослідження

6. Календарний план виконання роботи: а) наукова частина; б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Вступ	20.09.2020
Сучасний стан ВІМ моделювання та перспективи в Україні	25.09.2020
Моделювання об'єктів культурної спадщини	30.09.2020
ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини	10.10.2020
Технологія ВІМ моделювання	15.10.2020
Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини	20.10.2020
Структурна модель бази геопросторових даних моделювання об'єктів культурної спадщини	25.10.2020
Характеристика об'єкта дослідження	28.10.2020
ВІМ моделювання об'єкта дослідження	10.11.2020
Оцінка точності ВІМ моделі	15.11.2020
Остаточне оформлення роботи	22.11.2020
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	30.11.2020
Попередній захист роботи на кафедрі	07.12.2020

8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ 3. Дослідне опробування методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини	Доц., к.т.н. Горковчук Д.В.

9. Дата видачі завдання: 25 червня 2020 р.

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

Карпінський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Горковчук Ю. В.

(прізвище та ініціали)

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ніколаєнко Д. В.

(прізвище та ініціали)

<b>РЕЗЮМЕ</b> (summary) <i>до атестаційної випускної роботи студента:</i>		<b>Ніколаєнко Дмитро Вадимович</b>	
<i>ЗВО</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема</i>	Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини		
<i>Освітній ступінь</i>	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем та управління територіями		
<i>Кафедра</i>	Геоінформатики і фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 Геодезія та землеустрій		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології		
<i>Керівник</i>	Горковчук Ю. В., к.т.н., доцент		
<i>Обсяг роботи:</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>рисунків</i>
	74	3	34
<i>Розділ 1</i>	Проаналізовано сучасний стан в світі та в Україні інформаційного моделювання будівель та сформульовано перспективи застосування технологій інформаційного моделювання будівель в Україні та застосування для моделювання об'єктів культурної спадщини..		
<i>Розділ 2</i>	Проаналізовано основну нормативно-методичну документацію, необхідну для застосування ВІМ технологій. Проаналізовано методику інформаційного моделювання об'єктів культурної спадщини. Створено модель бази геопросторових даних моделювання об'єктів культурної спадщини.		
<i>Розділ 3</i>	Описана детальна характеристика об'єкту дослідження, собору Сіоні розташованого в Тбілісі, Грузія. В процесі створення ВІМ моделі собору Сіоні були вирішені основні завдання які виникають під час створення інформаційних моделей. Виконана оцінка точності створеної моделі, шляхом її порівняння з хмарою точок, яка являється еталоном при оцінці.		
<i>Висновки по роботі:</i>	Інформаційне моделювання будівель останні часи частіше використовується для виробництва, використання, діагностики будівель, являється інформаційною базою з відомостями щодо взаємодії будівлі з світом. Детальна інформаційна модель будівлі дає можливість детально проаналізувати усі параметри та з легкістю виявляти слабкі місця споруди при будівництві та експлуатації. ВІМ дає можливість моделювати та творити історію, як минулого, так і майбутнього.		

**Ключові слова:** інформаційне моделювання, культурна спадщина, собор Сіоні, база геопросторових даних, методологія інформаційного моделювання.  
**Keywords:** BIM, cultural decline, Sioni Cathedral, base of geospatial tributes, BIM methodology.

Укладач: \_\_\_\_\_ / Д.В. Ніколаєнко /

Керівник: \_\_\_\_\_ / Ю.В. Горковчук /

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....	10
1.1. Сучасний стан ВІМ моделювання та перспективи в Україні.....	11
1.2. Моделювання об'єктів культурної спадщини .....	16
1.3. ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....	26
2.1. Технологія ВІМ моделювання .....	27
2.2. Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини.....	37
2.3. Структурна модель бази геопросторових даних моделювання об'єктів культурної спадщини. ....	42
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....	48
3.1. Характеристика об'єкта дослідження. ....	49
3.2. ВІМ моделювання об'єкта дослідження. ....	50
3.3. Оцінка точності ВІМ моделі. ....	62
ВИСНОВОК.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	65
ДОДАТОК А.....	67
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ.....	74

## ВСТУП

Технологія інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) полягає в створенні віртуальної моделі будівлі, що включає в себе необхідну просторову та семантичну інформацію для архітектури, інжинірингу, будівництва та управління. BIM забезпечує ефективне управління інформацією про будівельні проекти на всіх етапах життєвого циклу об'єкту. BIM може використовуватися в різних сферах, в тому числі в архітектурі та будівництві нових будівель і споруд, експлуатації вже існуючих об'єктів, охорони та реконструкції історичних пам'яток, тощо.

Проблема якості будівельної інформації – неповної, неточної або двозначної – є одним з основних чинників додаткових капітальних витрат, затримок та зниження ефективності в будівельному секторі. Завдяки інтеграції цифрових технологій в робочі процеси будівельної галузі досягається зменшення ризиків та збільшення ефективності проектів. BIM пропонує більш ефективні методи збереження та використання значних масивів даних про будівельні об'єкти.

Переваги BIM для сфери архітектури, інженерії та будівництва добре відомі, але те, наскільки масштабно можна використовувати це моделювання стосовно до об'єктів культурної спадщини, залишається відкритим питанням.

Почасти це так через різноманітність проектів стосовно історичних будівель і об'єктів: консервація і відновлення, адаптивне повторне використання, профілактичне обслуговування, управління спадщиною, екскурсійно-просвітницька і дослідницька діяльність, а також ведення документації.

**Метою** магістерської роботи є розроблення методики BIM моделювання об'єктів культурної спадщини.

**Об'єктом дослідження** є технологія BIM моделювання реалізована на прикладі BIM моделювання історичної будівлі собору Сіоні.

**Предмет дослідження** – будівельно-інформаційне моделювання об'єкта культурної спадщини.

Для досягнення мети, поставлено такі **завдання**:

- аналіз можливостей BIM в сфері культурної спадщини;
- аналіз сучасного стану BIM моделювання в Україні;
- розроблення методики BIM моделювання об'єктів культурної спадщини;
- дослідне BIM моделювання історичної будівлі собору Сіоні (м. Тбілісі, Грузія).

Магістерська дипломна робота складається із вступу, трьох розділів, загального висновку, списку використаних джерел, графічних матеріалів та додатків.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ  
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

					<b>МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Виконав		Ніколаєнко Д.В.			<i>Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Консульт.								15
Керівник		Горковчук Ю.В.				10		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.				КНУБА, група ГІСТ-61		

## 1.1. Сучасний стан BIM моделювання та перспективи в Україні

Інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) – це цифрове подання фізичних та функціональних характеристик об'єкта. Технологія інформаційного моделювання будівель полягає в побудові тривимірної віртуальної моделі будівлі в цифровому вигляді та включає в себе необхідну інформацію для архітектури, інжинірингу, будівництва та управління об'єктами.

На сьогоднішній день концепція BIM технології вже вийшла за межі простого тривимірного моделювання [8] і включає в себе 4D моделювання з функцією часу в якості четвертого виміру, а також 5D моделювання, в якому грають роль грошові витрати. Таким чином, технологія BIM охоплює не тільки базові геометричні дані про проект, а також просторові відносини, геодезичну інформацію, а також якісні та кількісні характеристики окремих компонентів системи.

Протягом багатьох років стало зрозуміло, що традиційні будівельні процеси нестійкі через свою неефективність, наприклад:

- втрата інформації, накопиченої на кожному етапі процедури;
- надлишкова, або неправильна інформація;
- часті переробки, спричинені неадекватним розповсюдженням проектних рішень, або недоліками клієнта;
- неконтрольоване збільшення часу та витрат;
- прогалини в спілкуванні між різними суб'єктами.

Звичайно, критичні проблеми можна подолати завдяки BIM – саме тому такий потужний інструмент вважається фундаментальним.

Серед переваг застосування BIM-технологій слід виділити:

- зменшення термінів підготовки проектної документації;
- контроль ключових показників і дотримання термінів виконання робіт;
- швидке надання інформації щодо результатів досліджень і випробувань, документації та звітів в електронному вигляді;
- оперативне коригування вартісних показників будівництва;

зниження витрат;

- скорочення термінів введення будівлі в експлуатацію.

Технологія BIM має на увазі саме колективну роботу над проектом. Це стосується не тільки спільної роботи спеціалістів різних дисциплін в рамках одного проекту, а й взаємодії замовника, проектувальника і будівельника. Безумовно для того цього потрібно поступово змінювати договірні відносини, які склалися в галузі, переходити до інтегрованого процесу.

Для того щоб успішно виконувати проект, важливо описати роль кожного учасника, визначити його функції, задачі та кошти реалізації поставлених цілей, тобто скласти план виконання BIM проекту.

BIM стандарт – це комплекс документів, який містить вимоги до процесу і результату цього процесу.

Основні елементи стандарту:

- загальний опис технології проектування;
- правила найменування;
- регламент організації спільної роботи і обміну інформації;
- регламент створення моделі для кожного розділу проекту;
- регламенти створення бібліотек BIM компонентів.

На початковій стадії створення для розробки власних стандартів має сенс використовувати досвід зарубіжних колег. Такими стандартами можуть бути: відкритий BIM-стандарт від компанії Autodesk, відкритий BIM-стандарт від Vysotskiy consulting. Британські стандарти: BS 1192:2007+A2:2016 (спільне виробництво архітектурної, інженерної і будівельної інформації); PAS 1192-2:2013 (проект стандарту для управління інформацією на етапі капітального будівництва з використанням інформаційного моделювання); PAS 1192-3:2014 (проект стандарту для управління інформацією на етапі експлуатації об'єкта з використанням інформаційного моделювання, терміни BIM, AIM (Asset Information Model, інформаційна модель об'єкта) і PIM (Project Information Model, інформаційна модель проекту).

Стандарт IFC є відкритим форматом обміну даних для BIM. IFC – це безпатентний формат, який підтримується більшістю постачальників програмного забезпечення BIM. Він може використовуватися в будівельній галузі для обміну об'єктно-орієнтованими будівельними 3D-даними про будівлю незалежно від програмного забезпечення BIM, яке використовують інші члени групи.

Формат IFC визнаний Міжнародною організацією зі стандартизації 16739: 2013 (ISO 2013) для обміну даними в будівництві і промисловості управління архітектурними об'єктами.

При розробці необхідно не копіювати повністю приклади стандартів, а опрацювати і змінювати їх під себе. Необхідно визначити, хто і для чого буде використовувати модель та документацію і структурувати інформацію так, щоб нею було зручно користуватися.

Проаналізувавши розповсюдження BIM, можна побачити, як він захоплює увесь світ. Деякі країни стоять на передовій, такі як Великобританія та Скандинавія, інші наближаються до BIM поступово, наприклад Австралія та Канада.

На сьогоднішній день, Великобританія розглядається як один із світових лідерів BIM та лідер в Європі у впровадженні BIM завдяки добре структурованому та керованому плану дій в рамках галузі архітектури, інжинірингу та будівництва (АІБ, англ. Architecture Engineering Construction, АЕС).

Ще у 2002 році департамент Великобританії запропонував використання програм 2D та 3D CAD, але все ж таки трансформація будівельної галузі до середовища, орієнтованого на BIM, пришвидшилася в 2010 році завдяки програмі "Digital Built Britain". Цю програму було додатково збільшено в 2011 році з описом рівнів моделювання BIM.

З моменту запуску в 2011 році, програма уряду Великобританії вимагала використовувати BIM для будь-яких публічних проектів та у великих інфраструктурах. Як результат, Великобританія розробила деталізований

набір стандартів та інструментів BIM, завдяки яким вона стала світовим лідером у галузі BIM, стимулюючи тим самим пришвидшення підготовки кваліфікованих фахівців з використання BIM та поступового впровадження технологій BIM для приватних будівельних проектів.

Європейські уряди [12] (з Великобританією та скандинавськими країнами на передовій) вже багато років підтримують цифрову трансформацію будівельних процесів, так як це єдиний спосіб зробити будівельний сектор більш ефективним, обмежуючи часові та грошові витрати.

Багато років британський уряд стикався з проблемою використання інформаційних технологій у будівельному секторі для використання очевидних переваг.

Поступ Британської цифрової революції знаходить яскравий приклад із запровадженням з 2011 року обов'язкового використання BIM-моделей для будь-яких державних проектів чи великих інфраструктурних об'єктів: це поставило Сполучене Королівство на перше місце в Європі з розвитку будівництва.

У Франції перехідний план на цифрове будівництво (Plan Transition Numérique dans le Bâtiment), запропонований французьким урядом, ставить завданням на 2022 рік повністю поширити стратегію BIM при проектуванні та управлінні громадськими роботами, у великих інфраструктурних об'єктів, а також у приватному будівництві.

Німеччина з 2015 року, також почала стрімко розвиватися в сфері BIM. Державна політика Німеччини склалася із затвердженням цифрового плану будівництва, який підкреслює важливість точного планування та переходу до цифрових процесів, як необхідного кроку для розвитку сектору будівництва. Згодом було офіційно оголошено, що використання BIM буде обов'язковим для всіх транспортних та інфраструктурних проектів Німеччини до кінця 2020 року.

Якщо подивитися на Сінгапур, то він є одним з лідерів використання BIM не тільки в Південно-Східній Азії, а й у всьому світі. Неабиякою мірою

цьому сприяла та обставина, що в Сінгапурі раніше за інших зрозуміли потенціал технології інформаційного моделювання будівель, навіть раніше появи самого терміна BIM. А потім була смілива, добре продумана і підтримана економічно державна політика щодо впровадження BIM.

Державне управління будівельною індустрією Сінгапуру здійснює організація BCA (Building and Construction Authority). Це фактично «міністерство будівництва» не просто керує, але і є ініціативним генератором нових ідей та підходів в освоєнні інноваційних технологій, в тому числі і BIM.

Перш за все, треба зазначити розроблену BCA так звану дорожню карту BIM для Сінгапуру, хоча впровадження BIM почалося не з неї, дорожня карта швидше стала певним етапним результатом розвитку цього процесу.

Основні цілі нової програми - підвищення до 2020 року ефективності будівництва на 25%, а також досягнення вже в 2015 році 80% рівня застосування BIM в галузі. Також планується за допомогою BIM скоротити число некваліфікованих робітників (мігрантів) на будмайданчиках. І особлива мета сінгапурської програми - стати світовим лідером за швидкістю здійснення експертизи проектів і видачі дозволів на будівництво.

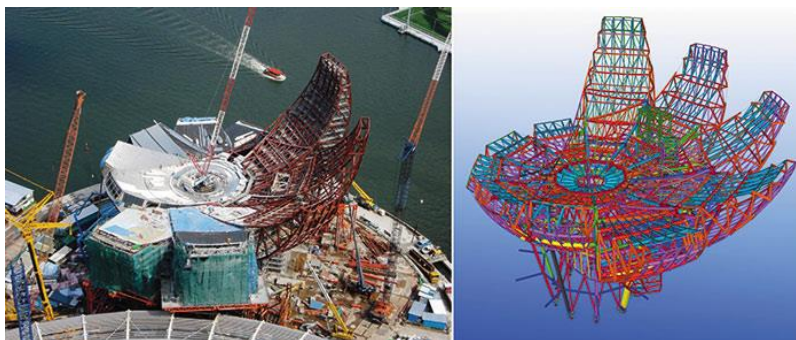


Рис. 1.1.1. Будівля Музею науки і мистецтва - одна з «візитних карток» використання BIM в Сінгапурі: а - будівля в період будівництва; б - модель сталевого каркаса музею, виконана в програмі Tekla Structure

Україна також не відходить від тенденцій світу і вже восени 2019 року був підписаний меморандум про впровадження BIM-технологій у будівництві. А в 2020 році BIM-технології мають обов'язково використовувати для всіх об'єктів категорії СС-3 (будівлі заввишки понад 100м). BIM активно

застосовується у будівельній галузі України, де очевидна його ефективність: будівництво великих торговельно-розважальних центрів, наприклад Ocean Plaza, Республіка у Києві, мультифункціональних об'єктів зі складною внутрішньою інфраструктурою (наприклад укриття над ЧАЕС).

## **1.2. Моделювання об'єктів культурної спадщини**

Історико-культурна спадщина – це матеріальні і духовні цінності, створені в минулому і мають значення для збереження і розвитку самобутності народу, його внеску у світову цивілізацію. Нерухомі об'єкти історико-культурної спадщини складають його матеріальну основу і формують історико-культурну національну середу.

До об'єктів культурної спадщини відносяться об'єкти нерухомого майна, що виникли в результаті історичних подій, які представляють собою цінність з точки зору історії, археології, архітектури, містобудування, мистецтва і є свідченням епох і цивілізацій, справжніми джерелами інформації про зародження і розвиток культури.

За видами об'єкти культурної спадщини поділяються на:

- археологічні – рештки життєдіяльності людини, що містяться під землею поверхнею та під водою і є невідтвореним джерелом інформації про зародження і розвиток цивілізації;

- історичні – будинки, споруди, їх комплекси, окремі поховання та некрополі, місця масових поховань померлих та померлих військовослужбовців, які загинули у війнах, внаслідок депортації та політичних репресій на території України, місця бойових дій, місця загибелі бойових кораблів, морських та річкових суден, у тому числі із залишками бойової техніки, озброєння, амуніції, визначні місця, пов'язані з важливими історичними подіями, з життям та діяльністю відомих осіб, культурою та побутом народів;

- об'єкти монументального мистецтва – твори образотворчого мистецтва: як самостійні, так і ті, що пов'язані з архітектурними,

археологічними чи іншими пам'ятками або з утворюваними ними комплексами;

- об'єкти архітектури – окремі будівлі, архітектурні споруди, що повністю або частково збереглися в автентичному стані і характеризуються відзнаками певної культури, епохи, певних стилів, традицій, будівельних технологій або є творами відомих авторів;

- об'єкти містобудування – історично сформовані центри населених місць, вулиці, квартали, площі, комплекси (ансамблі) із збереженою планувальною і просторовою структурою та історичною забудовою, у тому числі поєднаною з ландшафтом, залишки давнього розпланування та забудови, що є носіями певних містобудівних ідей;

- об'єкти садово-паркового мистецтва – поєднання паркового будівництва з природними або створеними людиною ландшафтами;

- ландшафтні – природні території, які мають історичну цінність;

- об'єкти науки і техніки – унікальні промислові, виробничі, науково-виробничі, інженерні, інженерно-транспортні, видобувні об'єкти, що визначають рівень розвитку науки і техніки певної епохи, певних наукових напрямів або промислових галузей.

Переваги ВІМ для сфери архітектури, інженерії і будівництва гарно відомі, але те, наскільки масштабно можна використовувати це моделювання стосовно до об'єктів культурної спадщини, залишається відкритим питанням.

Частково це так через різноманітність проектів стосовно історичних будівель і об'єктів: консервація і відновлення, адаптивне повторне використання, профілактичне обслуговування, управління спадщиною, екскурсійно-просвітницька і дослідницька діяльність, а також ведення документації.

Інформаційне моделювання нерухомих об'єктів культурної спадщини можна спрощено охарактеризувати як новий підхід до питання фіксації пам'яток. Хоча насправді ВІМ тут дає набагато більше.

Фактично інформаційна модель стає місцем і засобом не тільки зберігання відомостей про пам'ятник, а й серйозним інструментом при дослідній роботі з цією інформацією, а також в навчально-просвітницької та комунікаційної діяльності. Ця модель також тісно пов'язана з моніторингом стану об'єкта і його можливим використанням. Таким чином, інформаційна модель пам'ятника архітектури – це не просто його віртуальна копія, а «інтелектуальний контейнер» з взаємозалежною інформацією про об'єкт, причому обсяг цього контейнера практично не обмежений.

В сучасних умовах однією з найкращих технологій отримання реальної форми (геометрії) будівлі є лазерне сканування, яке часто стає невід'ємною частиною процесу інформаційного моделювання пам'ятника архітектури.

При роботі з пам'ятниками архітектури, особливо, якщо вони вже отримали статус або стають експонатами музеїв під відкритим небом, з'являється ще одна додаткова задача - музеєфікація, тобто докладний опис цих пам'яток (аж до всіх компонентів), з метою як наукового дослідження, так і підтримки в стабільному стані зберігання.

У цьому випадку модель пам'ятника архітектури повинна вибудовуватися практично поелементно з докладним описом властивостей кожного такого елемента.

Більш того, на додаток до основних вимог, що пред'являються до інформаційних моделей, для пам'яток історії та архітектури з'являється ще необхідність прив'язки до об'єкта цілком або його складових частин історичних документів і ресурсів. Така додаткова інформація може реалізовуватися через бази даних, атрибути елементів, або через додавання в модель текстових або 2D документів, або підключенням посилань на інтернет-портали.

Для історичних об'єктів BIM є дуже важливим так як в цій галузі інформаційне моделювання показує своє «подвійне призначення»: при створенні моделі пам'ятника архітектури обов'язково з'являються бібліотечні елементи, які потім можуть використовуватися і в сучасному проектуванні і

будівництві. А це дає можливість з набагато меншими зусиллями об'єднувати стилі різних епох в єдиному часовому проміжку сучасного будівництва.

Завдяки цьому BIM стає унікальним технологічним містком між культурою колишніх століть і нашим життям. Раніше такого сильного інструменту в руках архітекторів та істориків не було.

Документування культурно-історичної спадщини [14] - це систематичний збір і архівування як матеріальних, так і нематеріальних елементів історичних споруд та оточень. Мета документування - надати точну інформацію, яка дозволить зберігати, контролювати і підтримувати об'єкт. Приклади міжнародних і національних стандартів збору та архівування інформації, що відноситься до історичних споруд, детально викладені в національних посібниках, таких як Historic American Building Surveys (HABS) і English Heritage Metric Survey Practice.

Такі моделі можуть бути розміщені в електронних музеях, де будь-який бажаючий може познайомитися з пам'ятками культурної спадщини в інтерактивній формі. Більш того, саме така модель допоможе в точності відтворити вигляд будинку хоч з нуля, якщо оригінал буде втрачено.

Так само HBIM (Historical Building Information Modeling) служить для високоточного і ефективного моніторингу стану споруди в реальному часі або з заданою періодичністю, наприклад раз на рік. Це дозволить виконувати своєчасний і якісний ремонт для підтримання умов нормальної експлуатації.

Дуже важливо максимально точно зафіксувати поточний стан будівлі і його оточення, для повноцінного аналізу, щоб дати точний прогноз і зробити вірні заходи щодо запобігання передчасному руйнування будівлі.

Зазвичай інформаційну модель будують з нуля, на стадії проектування, але, коли будівля вже побудована, необхідно спиратися на результати вимірювань і спостережень. Етап збору інформації - самий відповідальний. Необхідно максимально точно і правильно зафіксувати стан об'єкта. Зробити це дозволяє технологія лазерного сканування. Результатом лазерного

сканування є хмара точок - файл, що містить в собі масив точок, у кожній з яких, як мінімум, є три координати в тривимірному просторі.

Аналізуючи новітні наукові роботи з області НВІМ можна зробити наступні висновки:

Методи збору і попередньої обробки даних стають все більш автоматизованими, що дозволяє здійснювати збір даних в реальному часі і оперативну обробку даних для більш пізніх додатків моделювання.

Поточне програмне забезпечення ВІМ майже повністю зосереджено на нових будівлях і має дуже обмежені інструменти і зумовлені бібліотеки для моделювання існуючих і історичних будівель.

### **1.3. ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини**

Успішне застосування ВІМ для історичних будівель було доведено багатьма прикладами, наприклад, нормативний документ, розроблений урядом Великобританії в 2013 році, включав проект по консервації Манчестерської ратуші в якості одного з експериментальних державних проектів ВІМ в розділ «розумного» будівництва і цифрового проектування.

Проект будівлі Манчестерської ратуші [9] є одним з пілотних проектів уряду в області інформаційного моделювання будівель. Він довів, наскільки цінною є цифрова інженерія на етапах попереднього будівництва і доставки матеріалів: економія грошей на непотрібних тимчасових роботах, загальне скорочення тривалості програми на термін в 9 місяців і демонстрація клієнту потенціалу ВІМ для майбутніх цілей управління об'єктами. Віртуальні 3D-тури стали свого роду освітнім ресурсом для ключових зацікавлених сторін, а також надали благодійній організації «Англійська спадщина» (English Heritage) гарантії того, що історична будівля буде перебувати під необхідною опікою і захистом.

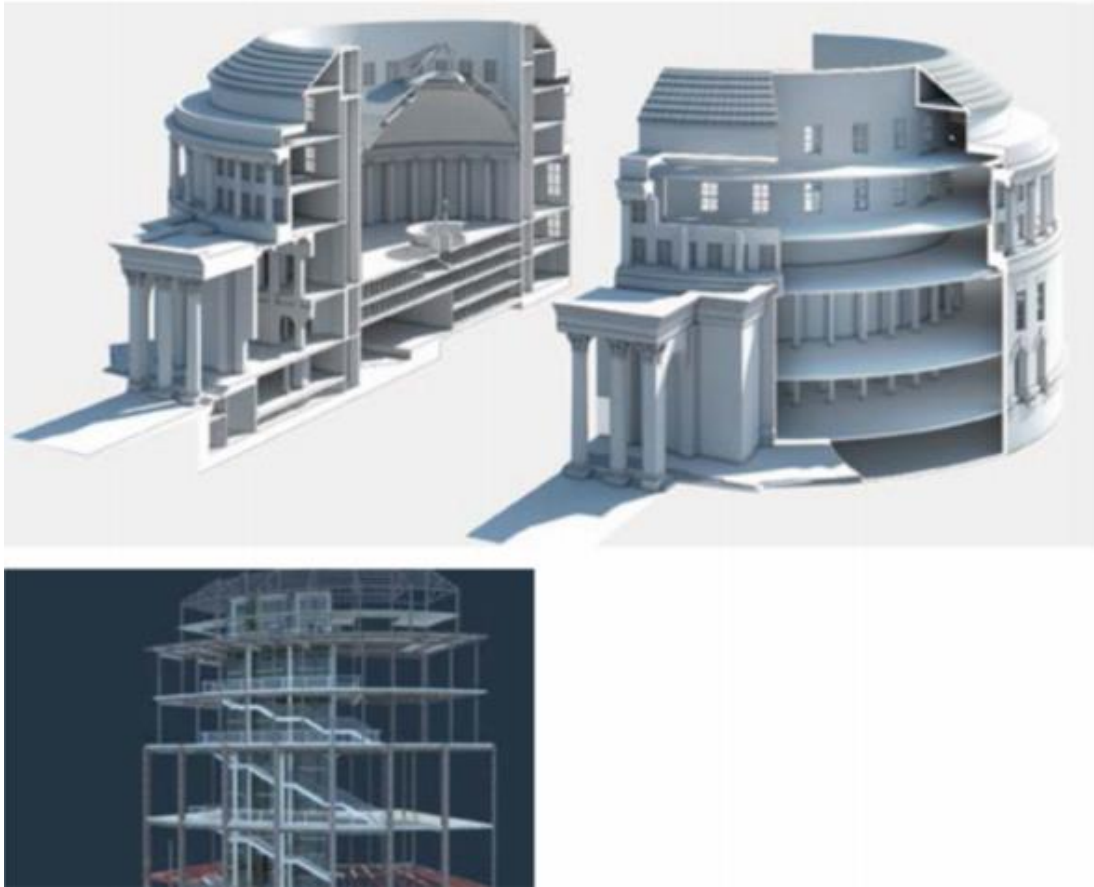


Рис. 1.3.1. Проект збереження мерії Манчестера демонструє потенційні переваги інформаційного моделювання будівель (BIM) для проектування, будівництва і управління об'єктами в контексті збереження спадщини

#### **- Залізнична станція Уейверлі в Единбурзі**

Завдяки досвіду роботи з інформаційним моделюванням будівель (BIM) в секторі спадщини, до дослідження залучили компанію AHR. Вона повинна була створити тривимірну модель квіткової каси, що є пам'ятником архітектури, і прилеглих до неї приміщень для персоналу на станції Уейверлі в Единбурзі, Шотландія. Замовлення включало в себе моделювання двох поверхів, даху і території залу.

Вирішальними факторами на користь використання BIM-моделювання стали фінансовий і часовий фактори. BIM-моделювання має значний список переваг, наприклад зменшення загальних капітальних витрат завдяки ефективності і скорочення часу реалізації проекту в зв'язку з високим рівнем взаємодії між усіма членами команди.



Рис. 1.3.2 Бічна проекція квиткового залу, створена за допомогою лазерного сканування хмари точок

Через характеру проекту, специфіки простору і стислих термінів для захоплення 3D-даних було вирішено використовувати лазерний сканер FARO. Щоб забезпечити рівень точності, зазначений в ВЕР, всі марки для вимірювання були розташовані з використанням тахеометра.

Мета даного дослідження полягала в розміщенні всіх відомих даних разом з моделлю в єдиному середовищі колективної розробки. Це дозволило команді вийти на більш високий рівень співробітництва. Всі учасники мають доступ до найбільш точних поточних даних, що, в свою чергу, підвищує ефективність проекту в умовах постійного тиску з метою скорочення витрат і підвищення ефективності.

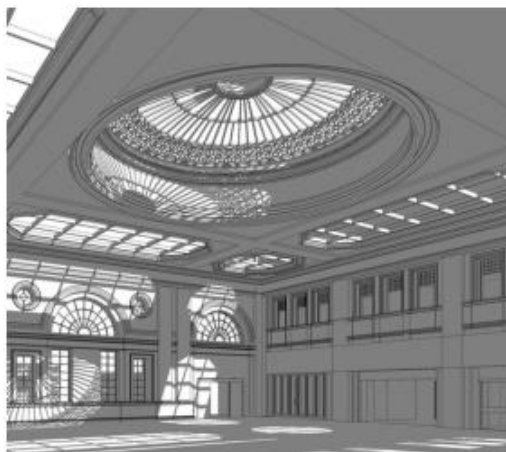


Рис. 1.3.3 ВІМ-модель зазначеного білетного залу

### - Особняк Вудс Хол

Особняк Вудс Хол розташований на південно-заході від Рочестера, графство Стаффордшир. Він був побудований в 1767 році як будинок Верховного шерифа Дербішир за проектом Томаса Бейнбріджа.

Для фіксації тривимірної геометрії будівлі і прилеглої до нього території були використані наземні лазерні сканери Leica ScanStations P30 і C10.



Рис. 1.3.4 ВІМ види особняка Вудс Хол

Для цілей планування було важливо охопити всю протяжність зовнішніх фасадів будівлі, включаючи верхні частини стін. За завданням замовника були змодельовані всі архітектурні і конструктивні особливості будівлі, зафіксовані сканером. Модель також включала топографію ділянки.

### **- Лазерне сканування і моделювання для Імперського військового музею в Ламберті**

ВІМ-моделювання в рамках цього проекту дозволило забезпечити тісну координацію всіх сторін, що беруть участь в реновації, забезпечуючи найактуальніший набір даних з усіх доступних, мінімізуючи ймовірність колізій при моделюванні і обслуговуванні. завдяки ВІМ архітектурні та структурні зміни можуть бути завантажені і використані найбільш ефективним чином.

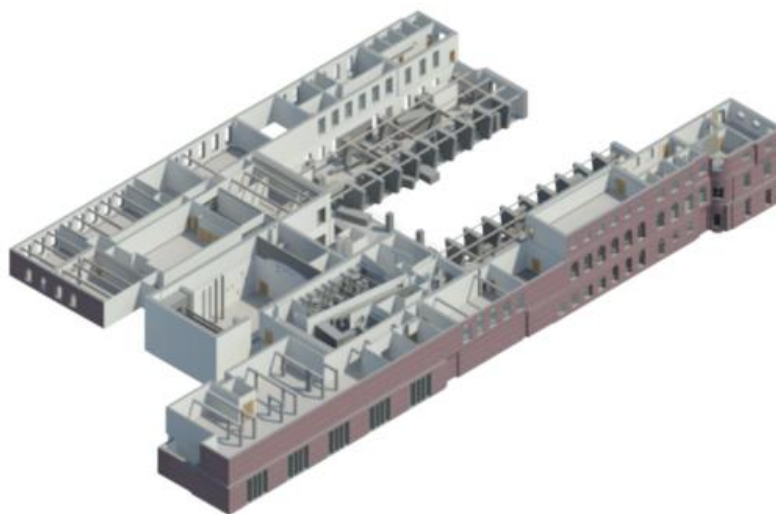


Рис. 1.3.5 Огляд даних моделі Revit для Імперського військового музею

Моделювання в основному проводилося в Revit з використанням зареєстрованої хмари точок в якості шаблону, який можна було розділити на кілька частин або розподілити для того щоб переконатися, що модель сконструйована з відповідними допусками. Так, як всі структурні елементи були змодельовані зі ступенем деталізації LOD 300, було вирішено, що самі експонати, де це необхідно, можуть бути представлені у формі простих кубів, але загальні розміри кожного з них були змодельовані. Сам процес моделювання зайняв близько 3 тижнів.

### **- Ocean Plaza, Республіка у Києві**

ВІМ активно застосовується у будівельній галузі України, де очевидна його ефективність: будівництво великих торговельно-розважальних центрів, наприклад Ocean Plaza, Республіка у Києві (рис. 6), мультифункціональних

об'єктів зі складною внутрішньою інфраструктурою (наприклад укриття над ЧАЕС).



Рис. 1.3.6. BIM-модель та фасад найбільшого в Україні ТРЦ «Республіка» у м.Києві

### **Висновки.**

Аналіз стану використання BIM в Україні свідчить про значні зміни на законодавчому рівні в напрямку становлення, впровадження та активного використання технології в Україні.

Виникнення поняття історичного інформаційного моделювання будівель (Historical Building Information Modeling, HBIM) зумовлено необхідністю високоточного і ефективного моніторингу стану історичних та культурних пам'яток, збереження яких є надважливим завданням сучасного світу.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВІМ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ  
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

					<b>МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Виконав		Ніколаєнко Д.В.			<i>Розроблення методики ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Консульт.								21
Керівник		Горковчук Ю.В.				26		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.				КНУБА, група ГІСТ-61		

## 2.1. Технологія BIM моделювання

Інформаційне моделювання будівель (BIM) – це інтелектуальний процес, заснований на 3D-моделях, який забезпечує фахівців усіма деталями, необхідними для планування, проектування, побудови та управління будівлями та інфраструктурою. BIM дозволяє колективам працювати ефективніше, одночасно дозволяючи їм збирати дані, які вони створюють під час процесу. Ці дані приносять користь технічному обслуговуванню, а також забезпечують планування та фінансування проекту. BIM може бути використаний [11] у багатьох галузях промисловості, але в архітектурі він використовується для прийняття кращих проектних рішень, підвищення продуктивності будівлі та більш ефективної співпраці протягом життєвого циклу проекту.



Рис. 2.1.1. Схема процесу BIM

План – здатність BIM фіксувати реальні дані та генерувати контекстні моделі вже існуючих середовищ, що є важливою інформацією для планування проекту.

Дизайн – На цьому етапі виконується концептуальне проектування, аналіз, деталізація та документація. Процес попередньої побудови починається з використанням даних BIM для інформування про планування та логістику.

Збірка – На цьому етапі починається розробка з використанням специфікацій BIM.

Експлуатування – Дані BIM переносяться на операції та обслуговування готових активів. Дані BIM можуть бути використані в майбутньому для економічно ефективного оновлення або ефективної деконструкції.

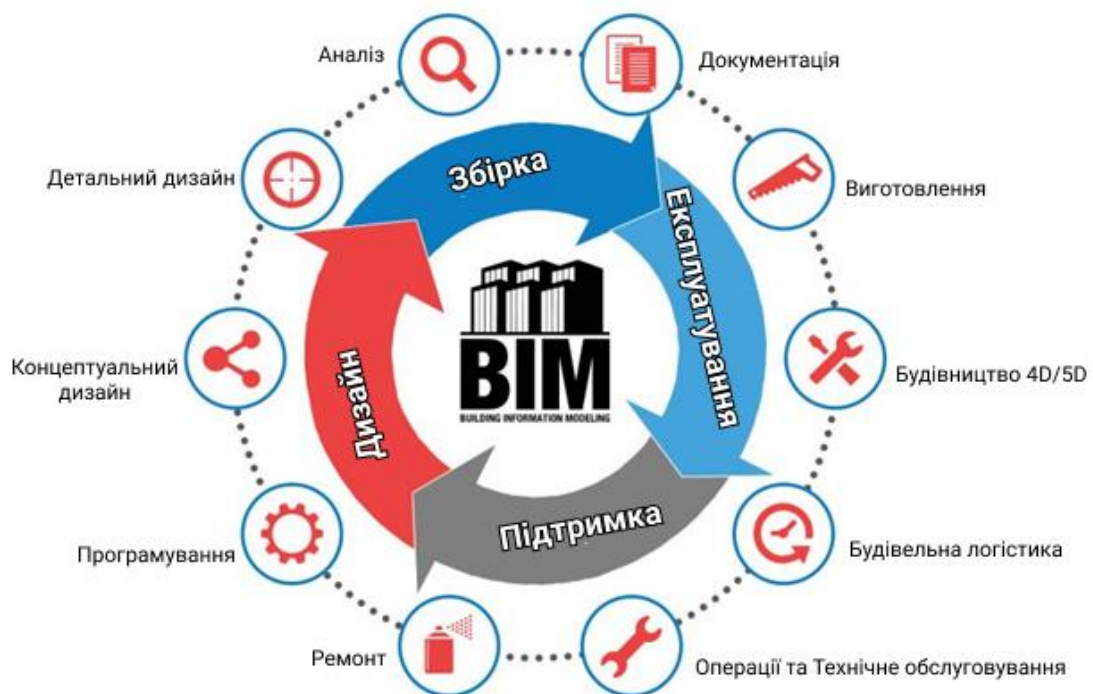


Рис. 2.1.2. Детальний процес BIM

Технологія BIM – це не просто набір комп'ютерних програм або 3D-модель. Важливим елементом BIM є атрибутивна інформація, яка закладена в проєкті, а також процес обміну цією інформацією між різними учасниками. Технології, які раніше використовувалися для ведення робіт ґрунтувалися на розрізненних операціях і великій кількості файлів з різним форматом, внесення змін в які швидко призводило до їх неузгодженості. Технологія BIM

забезпечує набагато більш динамічний і синхронізований підхід до управління проектом.

Рівні деталізації [10] елементів інформаційної моделі (LOD – Level of Detail) є одним з важливіших компонентів BIM, а концепція LOD на сьогоднішній день є однією з найбільш обговорюваних тем в світовому BIM співтоваристві.

Рівень деталізації (LOD) визначає повноту опрацювання елемента інформаційної моделі. Він визначає, яка кількість графічної та не графічної інформації (атрибутивної) потрібно для певного елемента інформаційної моделі на певному етапі її розробки.

Рівні деталізації повинні відповідати специфічним потребам всіх учасників проекту на кожному його етапі. У зв'язку з цим рівень деталізації не обов'язково повинен бути мірою інформаційної та графічної «насиченості» елемента. Так, наприклад, для підготовки кошторису і для складання специфікації на елемент інженерного обладнання (наприклад насос) не потрібно точно знати як він виглядає, які його точні розміри і які його технологічні характеристики, але дуже важливими є дані по його маркуванню, виробнику, вартості та багато іншого. І навпаки, інженеру потрібна детальна геометрія і технологічні параметри, суміжним дисциплінам потрібні габарити для здійснення 3D координації і контролю елементів моделі (виявлення «жорстких» і «м'яких» колізій).

Використання LOD також надзвичайно важливо на стадії підготовки технічного завдання на проектування та моделювання.

Ще один аспект, який обґрунтовує важливість і необхідність застосування концепції LOD для інформаційного моделювання, пов'язаний з різними способами відображення інформації в традиційному «2D» проекті та BIM проекті. У кресленні, як правило, присутня безліч розмірних ліній, виносок, таблиць, приміток, анотацій, за якими можна судити про кількість

інформації про об'єкт, представленою на кресленні. В інформаційній моделі елементи однакової зовнішності можуть містити дуже різні обсяги інформації. Рівні деталізації в цьому випадку дозволяють визначити відмінності елементів моделі без перевірки і порівняння властивостей (атрибутів) кожного елемента окремо.

Для розуміння концепції LOD також важливо враховувати, що елементи моделі в рамках процесу інформаційного моделювання прогресують з різною швидкістю. Це перш за все пов'язано з тим, що всі розділи проекту не можуть одночасно почати розроблятися. Звідси випливає, що поняття LOD може бути застосоване лише для окремих елементів моделі, але не до моделі в цілому і, відповідно, LOD не може строго відповідати певній стадії проекту.

У 2004 році концепцію рівнів деталізації «Level of Detail» представила компанія «Vico Software», яка спеціалізується на виробництві програмного забезпечення для управління будівельними проектами і виконання кошторисних розрахунків. Основне призначення LOD компанія «Vico Software» в той час бачила у визначенні вартості будівництва на різних стадіях проекту.

Початкове трактування терміна «Level of Detail» визначало рівень деталізації, як ступінь графічної та інформаційної насиченості елементів моделі, але не порушувала питання мінімальної достатності цієї інформації для використання іншими учасниками проекту. Основним завданням було визначення вартості будівельного проекту на різних стадіях: від оцінки приблизної вартості на концептуальній стадії до оцінки вартості робіт на стадіях випуску робочої документації і виконання будівельно-монтажних робіт.

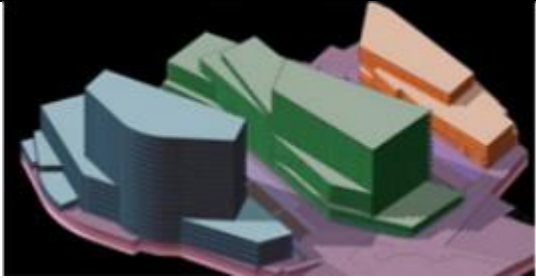
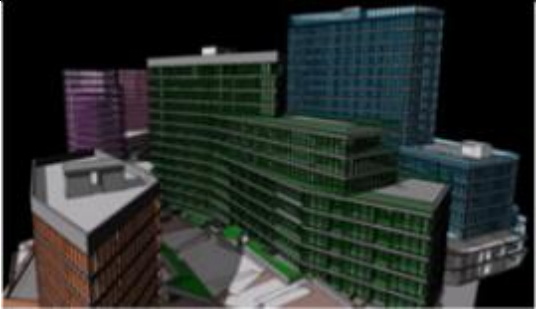
У 2008 році Американський Інститут Архітектури (AIA) розвинув концепцію LOD у вигляді протоколу «AIA E202-2008, Building Information Modeling Protocol Exhibit» (типова форма додатку до договору на BIM проект).


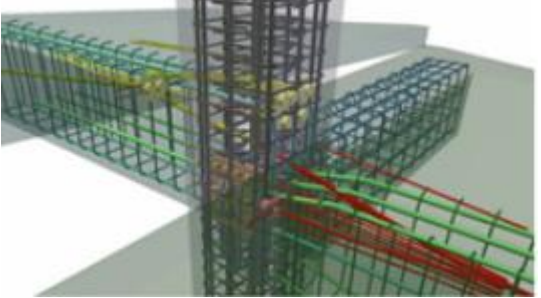
На сьогоднішній день діють вдосконалені версії цього протоколу: «AIA E203-2013 Building Information Modeling and Digital Data Exhibit» та «AIA Contract Document G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form».

Згідно з останньою версією протоколу (E203-2013), LOD визначає мінімальний обсяг геометричних, просторових, кількісних, а також інших даних елемента моделі, достатніх для реалізації основних напрямів використання моделей, відповідних даному рівню деталізації.

Для організації процесу планування BIM проекту, здійснення 3D координації та передачі необхідної інформації для вирішення основних проектних завдань було визначено п'ять базових рівнів деталізації елементів інформаційних моделей: LOD100, LOD200, LOD300, LOD400 і LOD500. Опис базових рівнів наведено в Таблиці 2.1.1.

Таблиця №2.1.1

LOD	Опис	Приклад
LOD 100	Елемент моделі може бути представлений у вигляді об'ємних формують елементів з приблизними розмірами, формою, просторовим положенням та орієнтацією або у вигляді символів.	
LOD 200	Елемент моделі представлений у вигляді об'єкта або збірки, як характерний представник системи будівлі з приблизними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією та необхідною неграфічною інформацією.	

LOD 300	Елемент моделі представлений у вигляді об'єкта або збірці належній конкретній системі будівлі з точними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією, зв'язками та необхідною неграфічною інформацією.	
LOD 400	Елемент моделі представлений у вигляді конкретної збірки з детальними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією, чіткими зв'язками, даними по виготовленню та монтажу, а також іншою необхідною неграфічною інформацією.	
LOD 500	Елемент моделі представлений у вигляді конкретної збірки з фактичними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією та неграфічною інформацією, якої достатньо для передачі моделі в експлуатацію.	

У 2011 році громадська організація "BIMForum" ініціювала розробку специфікації "Level of Development Specification", яка була опублікована в 2013 році. За основу була взята концепція Американського Інституту Архітектури (AIA). У специфікацію було додано ще один проміжний рівень деталізації LOD 350. Це було пов'язано з тим, що інформаційні моделі, елементи яких мають рівень деталізації не менше LOD 300, використовуються в підрядних торгах на будівництво для того, щоб підрядна організація використовувала цю модель для випуску робочої документації і далі на стадії

будівництва для формування 4D моделей (в західних країнах робочу документацію виконує підрядна будівельна організація). Але до стадії будівництва LOD 400 ще не існує, а в LOD 300 не вистачає інформації про зв'язки між елементами моделі для здійснення повноцінної координації. Так, наприклад, в LOD 300 не вистачає даних по способу анкерування опори металевої колони в бетонну основу (див. Рис 2.1.1). Таким чином, спеціально для зручності роботи будівельних підрядних організацій був введений додатковий LOD 350.

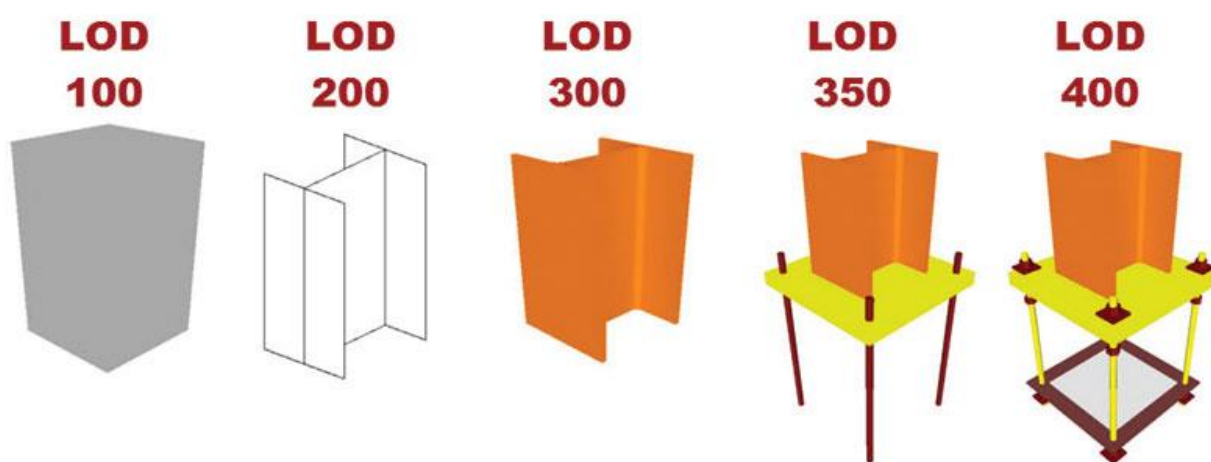


Рис. 2.1.1. Приклад рівнів деталізації (LOD)

Визначення мінімально достатнього обсягу графічної і, найголовніше, атрибутивної інформації безумовно є однією з головних задач планування процесу інформаційного моделювання. Універсальних рішень немає і не може бути, тому що специфіка проектів і поставлені цілі можуть варіюватися в дуже широкому діапазоні. З цієї причини концепція LOD є однією з найбільш обговорюваних і гострих тем для дискусій в світі BIM. Проте, для того, щоб допомогти замовникам і проектним групам правильно призначити рівні деталізації, різними організаціями випускаються керівництва по BIM і каталоги LOD.

Готовий проект повинен бути виконаний в тривимірному просторі. Він повинен складатися не просто з несучих ліній і текстур, як при класичному

3D-моделюванні, але і з безлічі штучних елементів, які в реальному житті мають певні фізичні властивості.

Це означає, що проєктувальник, коли закладає в свою модель всі вихідні дані, фактично переводить справжній об'єкт в цифровий простір, оцифровує його. Це означає, що є тільки вихідні дані і розрахунки, а реальних властивостей поки немає. Саме, для того, щоб їх передбачити, потрібні програми для BIM моделювання. У них закладені функції з автоматизованого розрахунку властивостей і характеристик об'єкта.

Про будь-які процеси, які будуть відбуватися в уже зведеній будівлі, можна дізнатися, використовуючи технологію BIM. Це обумовлюється переносом в цифровий масштаб всіх знань про матеріали, технологічні властивості тих чи інших будівельних рішень, а також про кліматичні умови і про багато іншого.

Існує багато різного програмного забезпечення (ПЗ) для виконання BIM моделювання, розглянемо плюси та мінуси деяких з них. (таб. 2.1.1)

Таблиця 2.1.1

Назва ПО	ArchiCAD	Allplan	Revit
<b>Опис</b>	Графічний програмний пакет САПР BIM (Building Information Modeling) для архітекторів, створений угорською компанією Graphisoft. Призначений для проектування архітектурно-будівельних конструкцій і рішень, інженерії, а також елементів ландшафту, меблів та ін.	Система автоматизованого проектування, яка була запропонована компанією Nemetschek Allplan Systems GmbH. Програма має широкі можливості і різні розділи	САПР від компанії Autodesk. Має значну кількість шанувальників за дуже широкі можливості в сфері будівництва, моделювання двовимірних і тривимірних конструкцій.
<b>Переваги</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Доступна на всіх системах</li> <li>- Програма адаптована до технології BIM, тому, будь-які зміни, які вносяться на кресленні, автоматично підтягують інші коригування в розрахунках і специфікаціях.</li> <li>- ArchiCAD самостійно готує всі документи під заданий формат, щоб при роздруківці був готовий файл в PDF.</li> <li>- Функція «Морф» значно спрощує роботу з об'ємними елементами важкою конфігурації.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Заповнення бібліотеки типовими напрацюваннями - вузли, однотипні елементи, які можуть застосовуватися повторно.</li> <li>- Всі плани і розрізи легко виконуються за допомогою функцій «Структура будівлі», «Диспетчер площин» і «Структура креслень».</li> <li>- Для реконструкції будівель підходить функція «Перетворення для реконструкції». Вона дозволяє</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Як і для всіх програм, заснованих на технології BIM, користувач практично нічого сам не креслить, він тільки заповнює графі документів, а програма робить креслення самостійно.</li> <li>- Всі графічні позначення можна міняти - товщина ліній, колір, штрихування.</li> <li>- Є функція багатоваріантності одного і того ж рішення, об'єкта.</li> <li>- Передбачена окрема можливість для визначення</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Інструмент «CineRender» призначений для красивої 3D-візуалізації.</li> <li>- В останніх версіях з'явилася можливість працювати через віддалені сервери - функція командної співпраці.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>зберегти і вдосконалити старе і додати нове.</li> <li>- Простий імпорт креслень в сторонні продукти через повну підтримку формату DWG.</li> <li>- Можливість цілу групу інженерів працювати в одному середовищі з різних персональних комп'ютерів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>типу робіт - будівництво, знесення, реконструкція.</li> <li>- Впровадження компонентів з зовнішніх файлів.</li> <li>- Можливість тривимірної візуалізації представлена через хмари точок.</li> </ul>
<b>Недоліки</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Програма не має функції багатоваріантності проектування</li> <li>- Висока вартість ліцензованого продукту</li> <li>- ArchiCAD - це вузько спрямований будівельний майданчик, інструментарій якої спрямований, виключно, на моделювання будівель</li> <li>- Немає можливості детального опрацювання деяких складних елементів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Доступна тільки на Windows</li> <li>- Погано опрацьована функція прокладки електрифікації</li> <li>- Немає централізованого адміністративного управління</li> <li>- програма більше підходить для колективної діяльності.</li> <li>- Неefективний експорт в креслення DWG</li> <li>- Повільний розвиток, переклад і локалізація функцій для деяких країн</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Доступна тільки на Windows</li> <li>- Для російської та української локалізації відсутня можливість користування бібліотекою штампів і сімейств</li> <li>- Відсутні будівельні норми для України</li> <li>- Revit більше підходить для монолітного будівництва, ніж для збірних металоконструкцій - другі вимагають додаткової розробки елементів</li> <li>- Ще один мінус - працювати з документами, які були створені в новій версії програми, можуть тільки ті розробники, у яких встановлено таке ж свіже ПО.</li> </ul>

## **2.2. Розроблення методики BIM моделювання об'єктів культурної спадщини.**

На сьогоднішній день BIM має стрімкий розвиток та впроваджується в багатьох країнах світу. Головним чином це впровадження проходить в будівельній індустрії, зачіпаючи весь ланцюжок «проектування – будівництво – експлуатація – знесення», оскільки спочатку технологія BIM розроблялась саме для проектно-будівельної галузі. Але створювані для реалізації BIM засоби моделювання і програмний інструментарій відкривають нові можливості і в галузі вивчення архітектурної спадщини, причому ці напрацювання можна застосовувати як до існуючих пам'ятників архітектури, так і до роботи з якоюсь «узагальненою» інформацією, яка не має безпосереднього відношення до якихось конкретних об'єктів, а скоріше відноситься до виділених історичних періодів.

Іноді інформаційне моделювання нерухомих об'єктів культурної спадщини намагаються спрощено охарактеризувати як новий підхід до питання фіксації пам'яток. Насправді BIM тут дає набагато більше. Фактично інформаційна модель стає місцем і засобом не тільки зберігання відомостей про пам'ятник, а й серйозним інструментом при дослідній роботі з цією інформацією, а також в навчально-просвітницької та комунікаційній діяльності (рис. 2.2.1). Ця модель також тісно пов'язана з моніторингом стану об'єкта і його можливим використанням. Таким чином, інформаційна модель пам'ятника архітектури – це не просто його віртуальна копія, яка передає геометрію споруди, а якийсь «інтелектуальний контейнер» з взаємозалежною інформацією про об'єкт, причому обсяг цього контейнера практично не обмежений, а вміст може постійно поповнюватися.

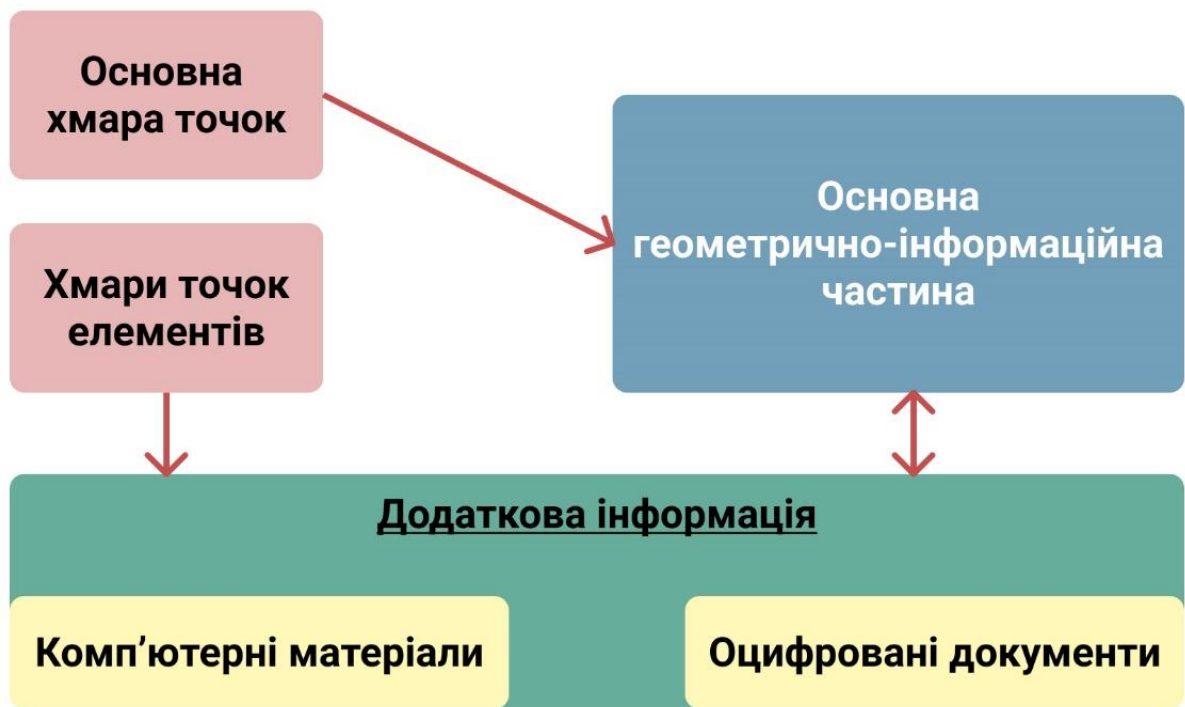


Рис. 2.2.1. Інформаційна модель історичного пам'ятника: її основні частини та зв'язки між ними

Якщо коротко сформулювати значення ВІМ для пам'яток історії та архітектури, ми отримуємо:

- 1) новий спосіб фіксації пам'яток: інформацію можна всебічно обробляти і перевіряти на несуперечливість;
- 2) нові можливості моніторингу і досліджень: модель дозволяє аналізувати об'єкт в цілому або частинами;
- 3) «електронний паспорт» об'єкта: застосуємо на всіх стадіях роботи з будівлею;
- 4) можливість створення глобальної інформаційної системи пам'ятників архітектури: «внутрішня» інформація про пам'ятник стає загальнодоступною для електронного пошуку і обліку;
- 5) з'являється новий «технологічний міст» між минулим і сучасністю: бібліотеки елементів роблять технологічно доступними ідеї «старої» архітектури при новому проектуванні та будівництві.

За своєю суттю технологія BIM є об'єктно-орієнтованою: для побудови будь-якої моделі потрібна якась кількість заздалегідь створених бібліотечних елементів. Тому особливого значення, при роботі з об'єктами культурної спадщини, набуває розробка і наповнення таких бібліотечних елементів, що відносяться до різних історичних епох, архітектурних стилів, географічних зон, технологій зведення будівель.

BIM включає [15] в себе 3D-модель всіх конструкцій, в тому числі архітектурних, і інженерних систем будівлі і в цій моделі є інформація про кожний її елемент – колону, балку або обладнання. Такий метод отримання моделі будівель, виключає наявність помилок на стадії будівельного процесу. Інформація може бути будь-якою – матеріал, маса, потужність, довжина, теплопровідність або аеродинамічний опір. Ці параметри використовуються в розрахунках по моделі – від точного розрахунку об'єму бетону до гідравлічного розрахунку системи опалення.

Те що всі системи будівлі виконані в тривимірному вигляді і в єдиній моделі дозволяє побачити до початку будівництва всі проблемні місця і усунути їх, таким чином BIM підвищує якість проекту. Без BIM таку перевірку не може провести ні замовник, ні проектувальник, і всі ці складності уповільнюють будівництво.

Зараз поняття BIM також замінюють на аналог – «Цифровий двійник». Цифровий двійник – точна модель реального об'єкта в цифровому вираженні.

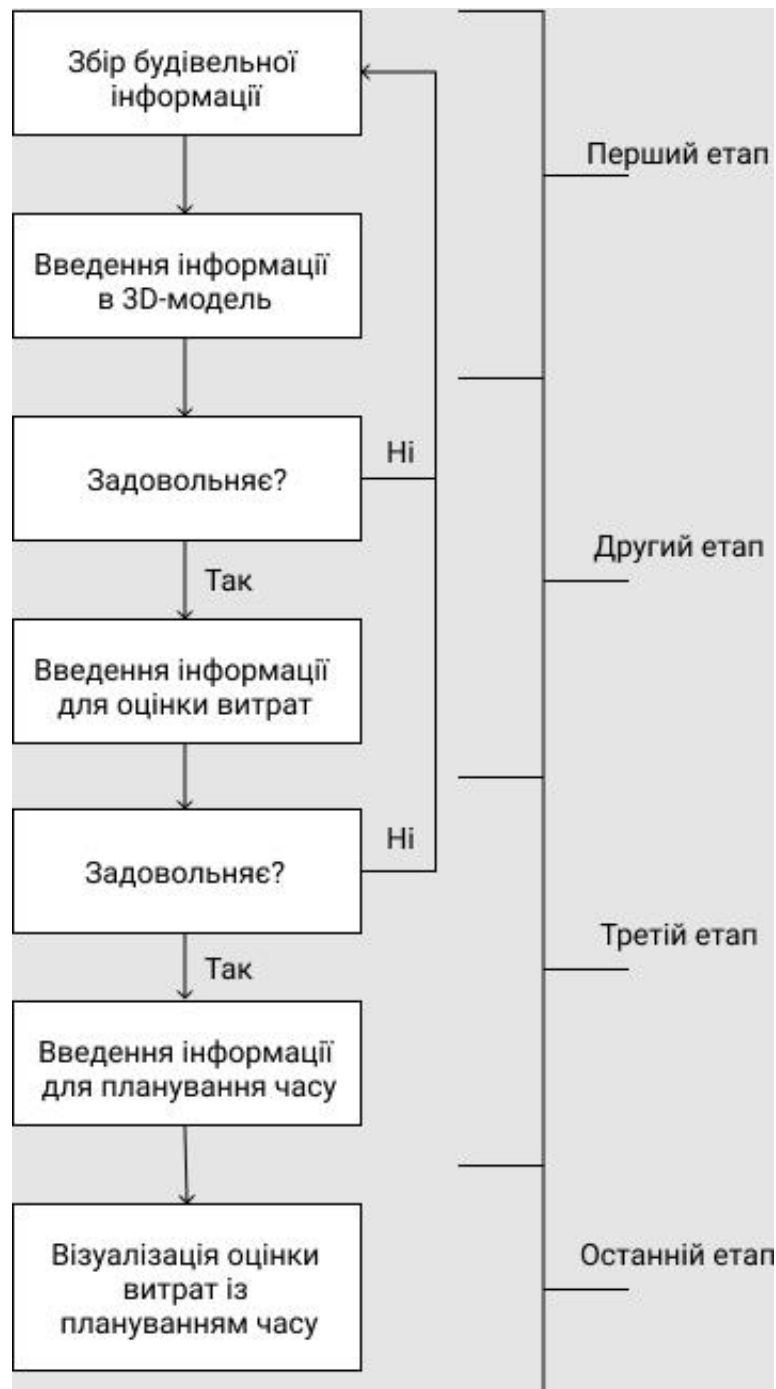


Рис. 2.2.2. Етапи BIM проектування

Основні етапи BIM-проекування будівель, споруд:

1. Перший етап – визначення цілей розробки інформаційної моделі. Від цілей замовника визначається ступінь її деталізації. Визначаються вимоги до програмних продуктів в яких вона може бути розроблена. Вивчається BIM-стандарт замовника при наявності. Розробляється план реалізації BIM-проекту.

2. Основний (другий та третій етап) – в даному етапі відбувається:
- Розробка концепції проекту в BIM-моделі.
  - Створення візуалізацій і презентаційних матеріалів.
  - Ухвалення проектних рішень, деталізація інформаційної моделі в залежності від стадій проекту та цілей замовника.
  - Виконання розрахунків.
  - Перевірка на колізії і їх усунення.
  - Експорт з моделі креслень, відомостей обсягів робіт.
  - Прив'язка моделі до календарного графіку будівництва та візуалізація будівництва (4D-моделювання).
  - Створення кошторисів на основі BIM-моделі (5D-моделювання).
3. Останній етап – передача даних, в зручному форматі, інформаційної моделі об'єкта, замовнику. Формати даних – вихідний (формат розробки), відкритий універсальний (IFC), 2D-креслення, відеоролики, графічні візуалізації.

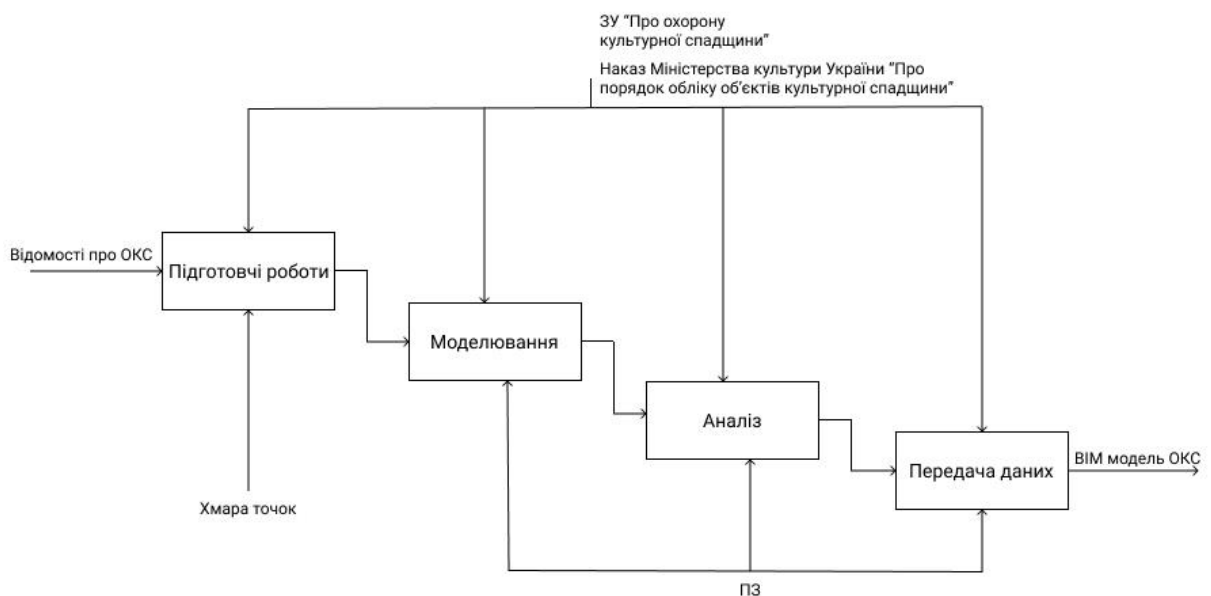


Рис. 2.2.3. Методика BIM моделювання

### **2.3. Структурна модель бази геопросторових даних моделювання об'єктів культурної спадщини.**

Проектування бази геопросторових даних (БГД) полягає у моделюванні реального світу, тобто у створенні геоінформаційних моделей, структура яких найбільш точно відповідає цілям бази даних. Передумовою проектування баз даних або так званим початковим етапом проектування є визначення цільового призначення БГД, яке визначає структуру даних.

Проектування БГД включає в себе три рівні моделювання: концептуальне, логічне, фізичне.

На етапі концептуального моделювання виконується визначення предметної сфери та опис досліджуваних об'єктів або явищ, типи цих об'єктів в БГД, встановлюються обмеження та взаємозв'язки. Іншими словами, під час даного етапу не враховуються деталі фактичної реалізації БГД. Етап концептуального моделювання один з найважливіших, оскільки від якості його виконання залежить подальше проектування бази даних, проведення реалізації та експлуатації системи, а також виконання базою даних завдань для яких її створюють.

Логічний етап моделювання передбачає відображення концептуальної моделі даних у вигляді мовних конструкцій та схематичних позначень вибраної СКБД.

Третій етап – фізичне моделювання, яке передбачає фактичну комп'ютерну реалізацію бази геопросторових даних.

Метою концептуального проектування [7] є побудова концептуальної моделі даних в основі якої лежить уявлення про предметну область кожного окремого типу користувачів. Концептуальна модель являє собою опис основних сутностей і зв'язків між ними без урахування прийнятої моделі БД і синтаксису кінцевої СКБД. Як правило на такій моделі будуть відображатися імена сутностей, не вказуючи їх атрибутів. Подання користувача включає в

себе дані, необхідні конкретному користувачеві для прийняття рішень або виконання завдання.

Концептуальна модель складається з трьох основних елементів: предметів (сутностей); атрибутів (якісних представлень властивостей предметів); лінії, які позначають зв'язки (відносини) між предметами. В даному випадку предметом є об'єкт інформатизації, атрибутами — його властивості або характеристики.

Концептуальна модель (рис. 2.3.1) складається з сутностей, їх атрибутів та зв'язків між ними. Загалом модель налічує 6 класів об'єктів та 5 зв'язків між ними. Назви класів об'єктів та їх атрибутів відображені українською мовою для узагальнення змісту інформації, яка буде зазначатися в даних класах.

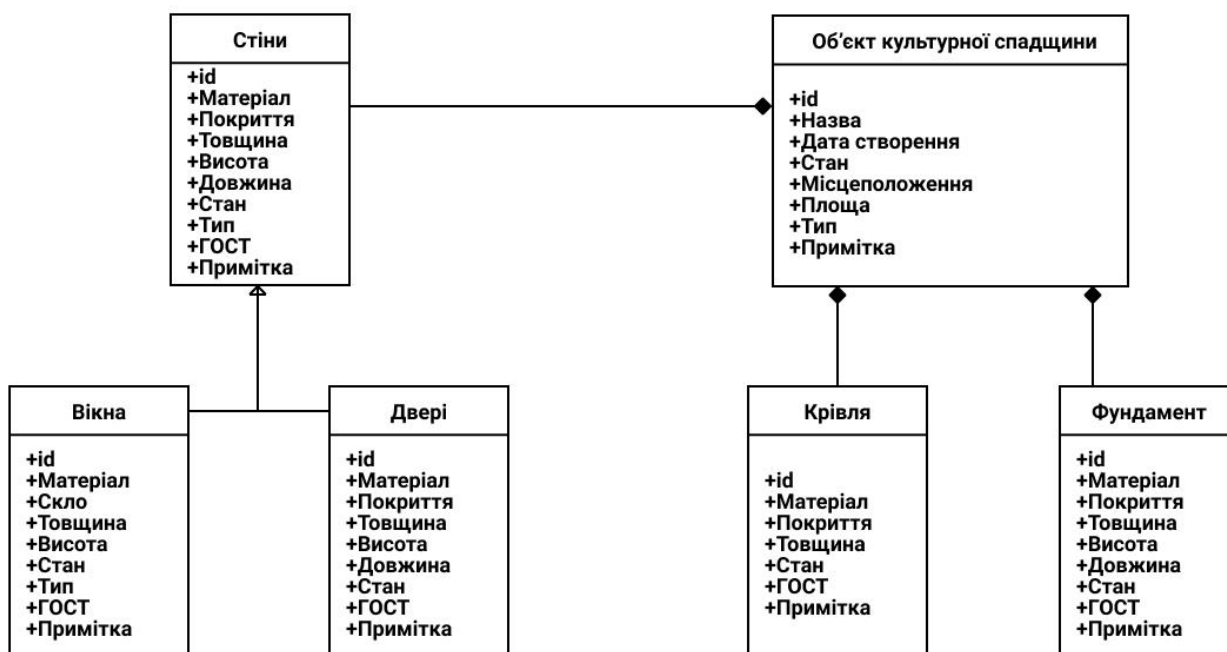


Рис. 2.3.1. Концептуальна модель БГД

Передумовою проектування логічної моделі бази геопросторових даних є розроблення каталогу об'єктів та атрибутів.

Основний рівень класифікації у каталозі — клас об'єктів місцевості (feature type). Даний клас базується на модельному поданні об'єкта (явища), який можна охарактеризувати завдяки певному місцеположенню, для якого виконується збирання, зберігання, а також розповсюдження даних.

В каталозі об'єктів БГД об'єкт реального світу класифікується до певної групи та типу даних, містить UML – схему, власні атрибути з описом їх значення та асоціації між об'єктами.

У каталозі кожен атрибут містить ідентифікатор; повну назву; характеристику об'єкта, за яку він відповідає; тип даних; статус; код; одиниці виміру; домен значень.

Каталог об'єктів та атрибутів [7] було складено згідно вимог ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів" у частині: формування змісту каталогу об'єктів; використання класу об'єкта як основного рівня класифікації; дотримання принципів виділення класів об'єктів місцевості, їхніх основних та неосновних характеристик (атрибутів); дотримання вимог та принципів щодо способу та змісту формального подання класів об'єктів та їхніх атрибутів із зазначенням їх кодів, ідентифікаторів, та доменів значень; дотримання вимог щодо опису відношень між класами об'єктів.

Загалом, розроблений каталог об'єктів та атрибутів БГД налічує 6 класів об'єктів та їх атрибутів (додаток А). Приклад каталогу атрибутів об'єкту "Стіни" наведено в таблиці 2.3.1.

Таблиця 2.3.1

Приклад каталогу атрибутів об'єкту типу "Стіни"

<b>Назва типу</b>	<b>Стіни</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	<b>Walls</b>				
<b>Код типу</b>	<b>10 100 000</b>				
<b>Визначення</b>	Тип об'єкта, що включає в себе інформацію про стіну, матеріал, ширина і т.п.				
<b>Опис атрибутів</b>					
<b>id</b>	<b>Ідентифікатор просторового об'єкта</b>				
<b>Визначення</b>	Ідентифікатор просторового об'єкта представляє собою унікальний ідентифікатор об'єкта, який може бути використаний для посилання на просторовий об'єкт				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010101

<b>Домен</b>	0<id<20			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Material</b>	<b>Матеріал</b>				
<b>Визначення</b>	Назва матеріалу з якого зроблена стіна				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010102
<b>Домен</b>	Матеріал			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Pokrytya</b>	<b>Покриття</b>				
<b>Визначення</b>	Покриття стіни				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010103
<b>Домен</b>	0< Pokrytya<1000			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Tovvyna</b>	<b>Товщина</b>				
<b>Визначення</b>	Товщина стіни				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010104
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Vysota</b>	<b>Висота</b>				
<b>Визначення</b>	Висота стіни				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010105
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Dovgyna</b>	<b>Довжина</b>				
<b>Визначення</b>	Довжина стіни				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010106
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Stan</b>	<b>Стан</b>				
<b>Визначення</b>	Стан стіни				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010107
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Type</b>	<b>Тип</b>				
<b>Визначення</b>	Тип стіни				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010108
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Prumitka</b>	<b>Примітка</b>				
<b>Визначення</b>	Примітки до відповідної стіни				

<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Неосновний	<b>Код</b>	010109
<b>Домен</b>	0<Prymitka<255			<b>Одиниця виміру</b>	-

Логічне моделювання — це етап проектування БГД під час якого розробляється модель даних, що будуть використані в базі даних, з урахуванням обраної моделі організації даних.

Логічною моделлю бази геопросторових даних називається модель, яка враховує особливості СКБД при описі структури даних та, відповідно, є результатом етапу логічного моделювання. Дана модель створюється шляхом відображення концептуальної схеми у певні мовні конструкції та схематичні позначення вибраної СКБД.

Логічну модель також називають СКБД-залежною. Але СКБД-залежність не означає, що логічні схеми залежать від особливостей конкретного комерційного продукту, таких як СКБД Oracle, DB2 або Microsoft SQL Server. Швидше за все, цей термін використовується, зазвичай, для позначення залежності від різних моделей баз даних, на яких комерційні СКБД спроектовані та побудовані, наприклад, реляційна, об'єктно-реляційна або об'єктно-орієнтована моделі БД.

Це означає, що реляційна логічна модель даних, наприклад, відповідає принципам і методам реляційних баз даних і, таким чином, може бути застосована до будь-якої бази даних, яка реалізується в середовищі реляційної СКБД.

З логічної моделі виключена надмірність даних і відображені інформаційні особливості об'єкту дослідження. Логічне моделювання бази даних виконується системним аналітиком, адміністратором бази даних та програмістом бази даних.

В логічній моделі об'єкти реального світу було класифіковано у відповідності до стандарту ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація –

Методологія для каталогізації об'єктів" та згідно запроєктованого каталогу об'єктів та атрибутів.

В розробленій логічній моделі (рис.3.2), так само як і в концептуальній, відображені 6 класів об'єктів та 5 зв'язків. Однак, у відмінності від концептуальної моделі, на логічній моделі назви об'єктів відображені такими, якими вони будуть створені у БГД, а також зазначені типи даних атрибутивних значень у відповідності до запроєктованого каталогу об'єктів та атрибутів. Ще однією особливістю логічної моделі є зазначення перед назвою класу об'єкта його типу, тобто типу даних, які будуть заноситися до даного класу. При реалізації моделі клас об'єкту featureType у СКБД буде створюватися як просторовий шар з відповідною геометрією.

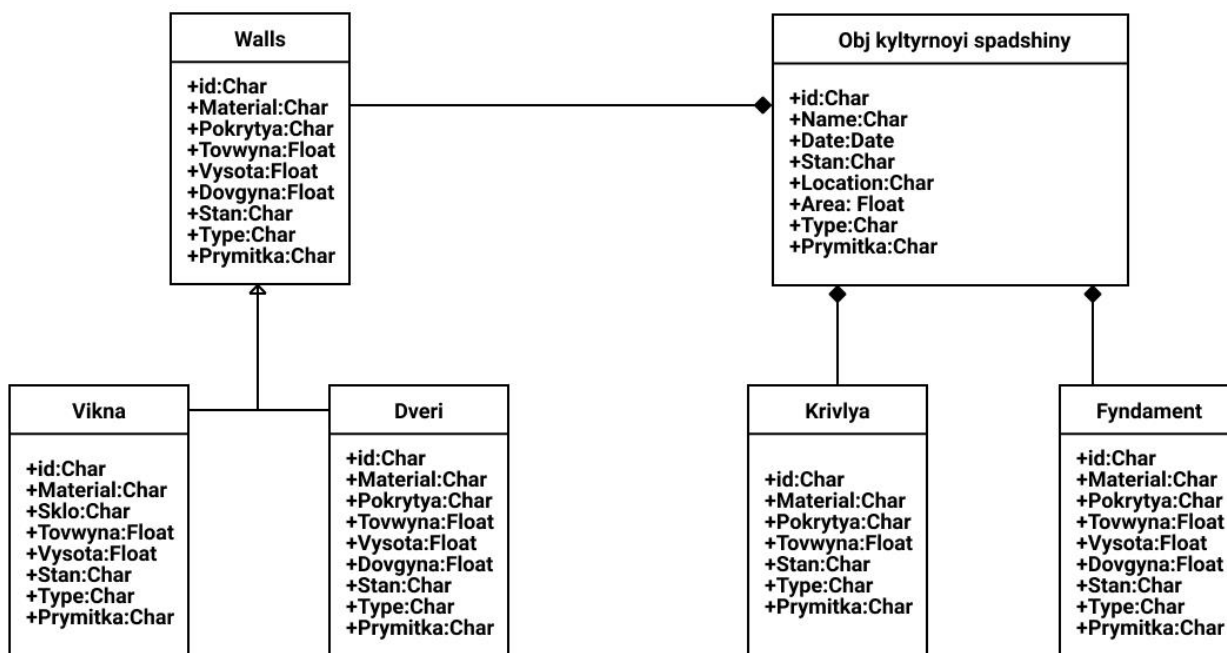


Рис. 2.3.2. Логічна модель БГД

### Висновки:

Розроблена методика ВІМ моделювання об'єктів культурної спадщини складається з чотирьох основних етапів – визначення цілей розробки ВІМ та збір даних, створення базової моделі, виконання аналізу характеристик будівлі, передача даних та ґрунтується на використанні бази геопросторових даних у складі реєстрів основних конструктивних елементів: стіни, кривля, фундамент.



### 3.1. Характеристика об'єкта дослідження.

Об'єктом дослідження є собор Сіоні – знаменитий храм Тбілісі.

Храм освячений на честь Успіння Пресвятої Богородиці, тобто присвячений спогаду смерті Божої Матері. За оцінками істориків, перший храм на місці собору Сіоні з'явився ще в VI столітті. Частина фахівців вважає, що це відбулося з ініціативи Вахтанга I Горгасала – царя Іберії, а інша частина – що за наказом візантійського вельможі Гурама I. простояло спорудження до VIII століття, в якому було знесено арабами після створення Тбіліського емірату.

У наступні століття собор також неодноразово руйнувався (в 1226 році його зруйнував Джелал ад-Дін Манкбурни, в 1236 - хорезмійці, в 1522 – шах Ізмаїл, а в 1668 – землетрус), проте завжди відновлювався.

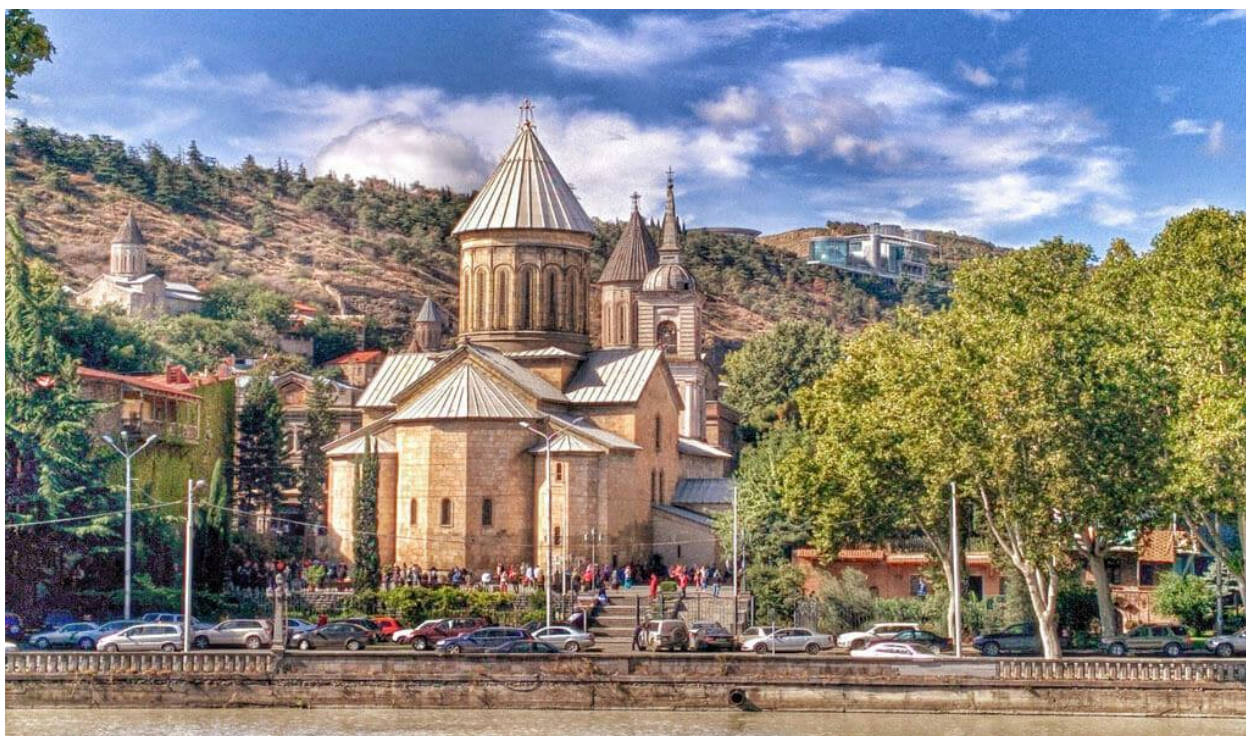


Рис. 3.1.1. Собор Сіоні

У роки радянської влади були спроби знищити цей пам'ятник православної архітектури, але вони не увінчалися успіхом. У 1980-ті храму повернули його статус, в ньому була проведена реконструкція, після якої споруда прийняло початковий середньовічний вигляд.

Цей древній храм до 2004 року (будівництва собору Святої Трійці - Собор Святої Трійці) був головним в Грузії, був кафедральним собором, настоятелем якого був сам Патріарх-Католикос, глава Грузинської Православної Церкви.

За конструкцією храм Сіоні являє собою типовий собор грузинського «золотого століття»: купольний, з двома опорними колонами і двома прибудовами з півночі і півдня.

Зовні собор виглядає досить просто і скромно, ніякі різьблення і прикраси, характерні для грузинських храмів XII-XIII, не збереглися, тому що в 1710 році він був облицьований Болніським туфом. Строгі фасади собору трохи пом'якшують теплий колір облицювального каменю. Вікна храму високі і вузькі, чимось нагадують фортечні бійниці.

Розпис внутрішніх стін храму (крім західної стіни) відноситься до 1850-1860 років. Для її здійснення був запрошений російський художник Григорій Гагарін, тому, незважаючи на старання художника, стиль розпису вийшов швидше російським, ніж грузинським (всі написи також зроблені російською). Під час реставрації початку 1980-х Католикос-Патріарх всієї Грузії Ілія Другий доручив розписати західну стіну кафедрального собору Сіоні місцевому художнику Левану Цуцкїрїдзе. Нові розписи отримали сучасний і похмурий відтінок, що також внесло свою лепту в неоднорідність стилю храму.

На сьогоднішній день іконостасу в храмі немає, замість нього встановлена віттарна перегородка, характерна для грузинських церков.

Храм знаходиться в історичному районі Старе місто і його добре видно з будь-якого оглядового майданчика. Дістатися до нього можна пішки по вулиці Сіоні.

### **3.2. ВІМ моделювання об'єкта дослідження.**

Створення інформаційної моделі є дуже кропіткою роботою. Це перш за все добре скоординована, злагоджена і взаємопов'язана числова інформація, яка піддається розрахункам та аналізу, має геометричну прив'язку, придатна

до комп'ютерного використання, допускає необхідні оновлення в об'єкті який тільки створюється, або вже в існуючому об'єкті.

Вихідними даними на основі яких створюється BIM модель собору Сіоні є хмара точок.

Інформаційна модель створюється в програмному забезпеченні ArchiCAD, так як воно більш за все відповідає необхідним критеріям об'єкта дослідження.

Першим етапом створення інформаційної моделі є завантаження хмари точок до робочого простору «Файл – Взаємозв'язок – Імпорт Хмари Точок».

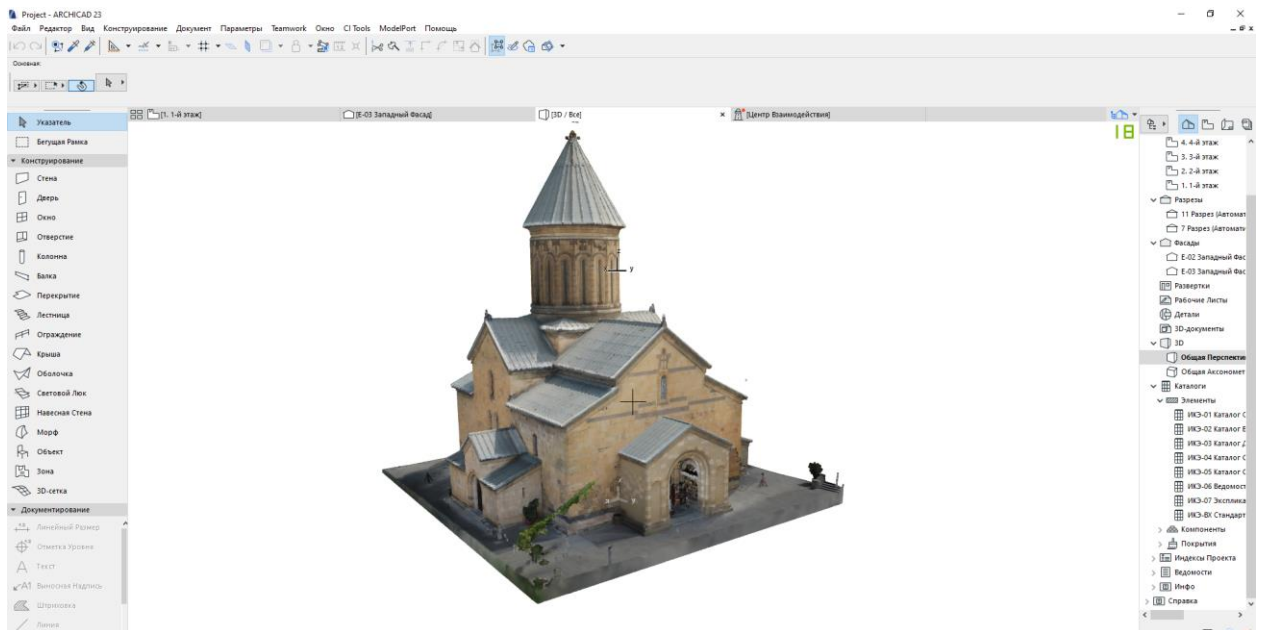


Рис. 3.2.1. Результат імпорту хмари точок.

Перейти до 2D виду Фасаду та виконати певні налаштування проекту, такі як налаштування поверхів, налаштування відображення моделі та хмари точок.

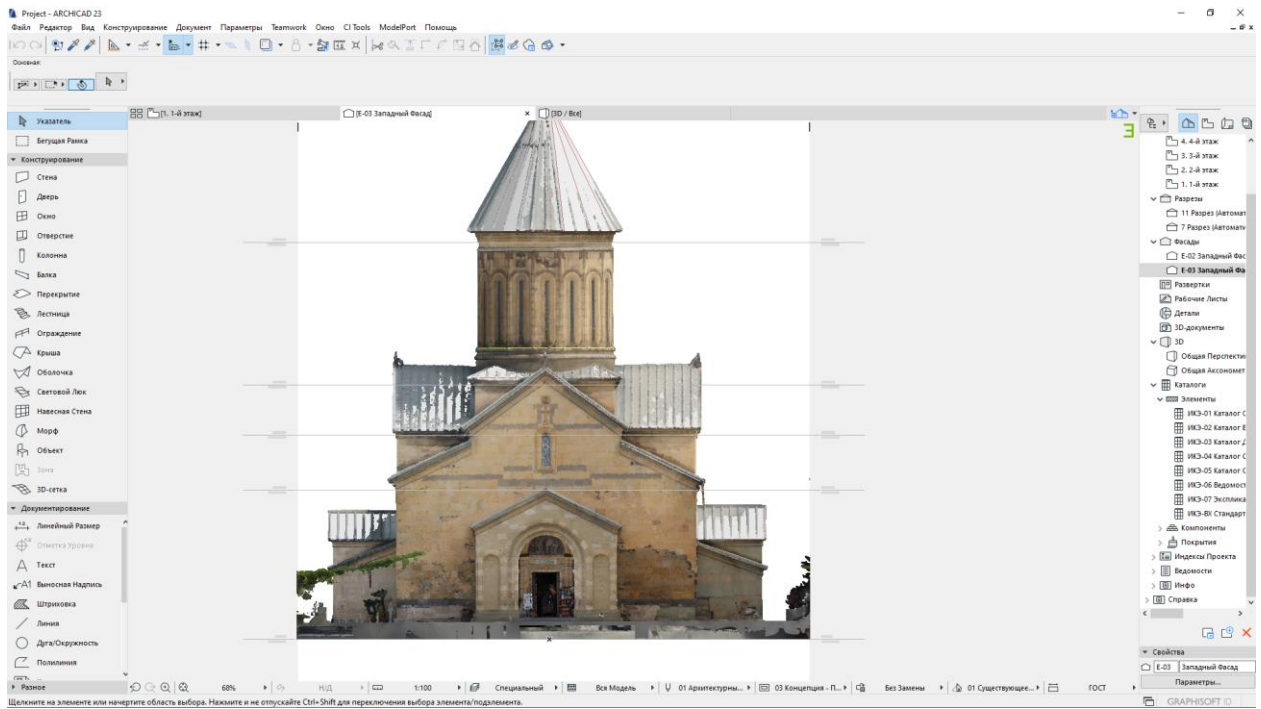


Рис. 3.2.2. Відображення фасаду будівлі.

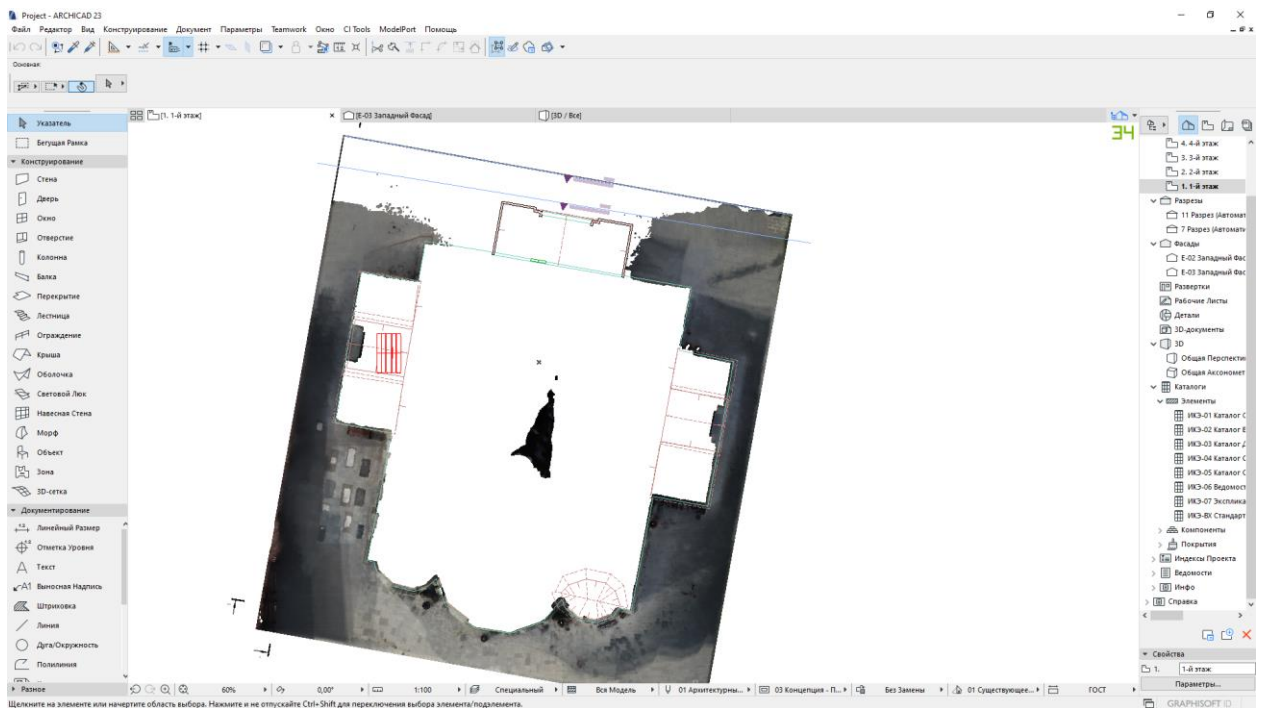


Рис. 3.2.3. Налаштований робочий простір.

Після налаштування робочого простору можна розпочинати створення фундаменту об'єкта. Потрібно вибрати «Перекриття» після чого перейти до налаштувань «Перекриття» та вибрати необхідні параметри, такі як матеріал, товщину та після чого виконати побудові відповідно до хмари точок.

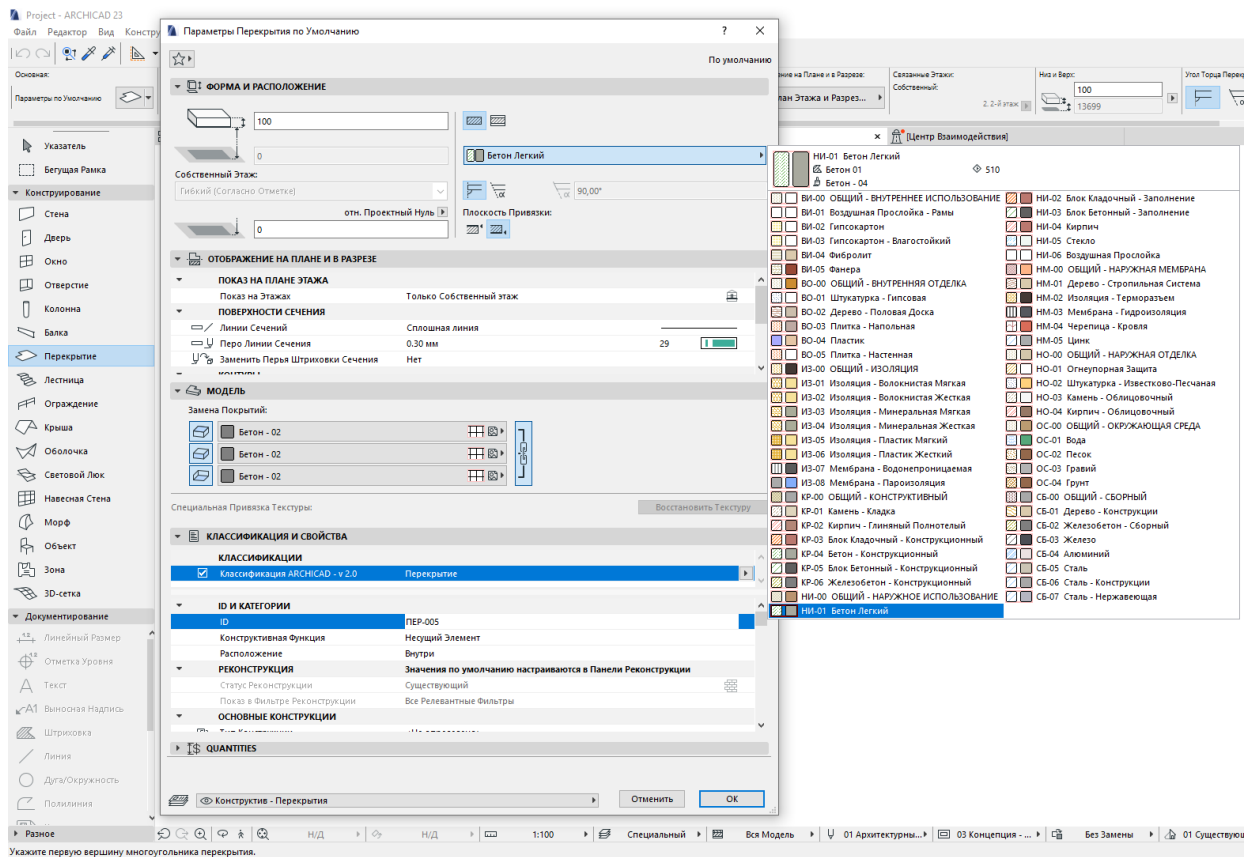


Рис. 3.2.4. Вікно параметрів «Перекрыття» для створення фундаменту.

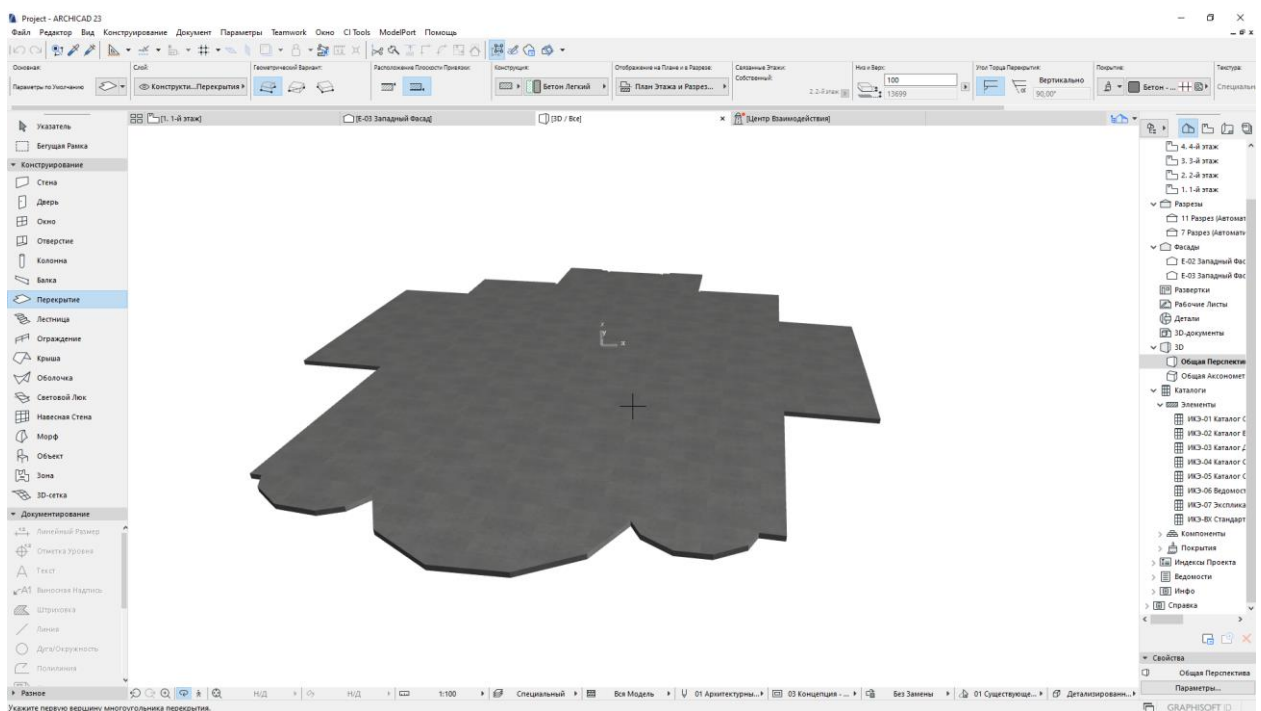


Рис. 3.2.5. Результат створення фундаменту BIM моделі.

Наступним етапом є створення стін та розроблення певних елементів, які більше відносяться до будівельних виробів (вікна, двері).

Для початку виконується побудова будівельних виробів, таких як вікна та двері. Але у більшості випадків ці елементи мають унікальний архітектурний дизайн і в ArchiCAD в стандартній бібліотеці немає точної копії таких елементів, але в ArchiCAD є чудовий інструмент «Морф» за допомогою якого можна виконати майже будь-який елемент будівлі.

Для початку необхідно вихідні дані на основі яких буде виконана побудова певного елемента, в нашому випадку це вікно. Вихідними даними для нього буде цифрове зображення необхідного елемента зроблене з хмари точок.



Рис. 3.2.6. Приклад цифрового зображення

На основі цього зображення, за допомогою інструмента «Морф» можна почати створювати вікно. Після створення потрібно налаштувати матеріал, розміри та покриття. Далі виконується збереження створеної моделі вікна «Файл» - «Бібліотеки та Об'єкти» - «Зберегти виділене як..» - «Вікно». Тепер форму цього елемента можливо використовувати у будь-якому проекті задаючи певні розміри, тип матеріалу та покриття.

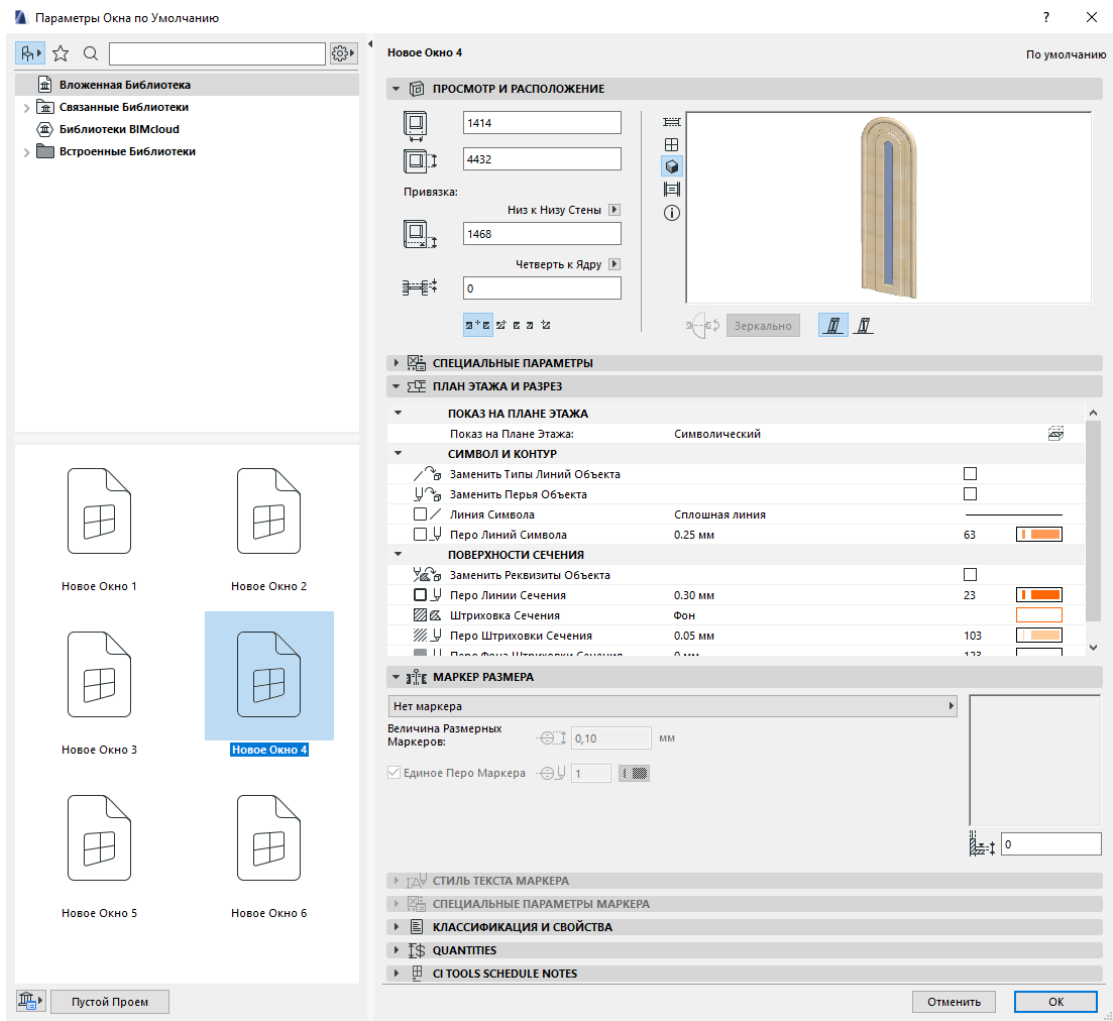


Рис. 3.2.7. Налаштування параметрів вікна.

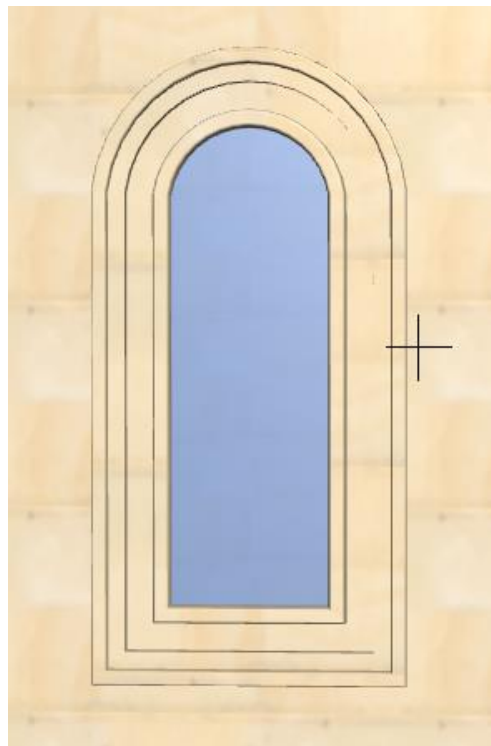


Рис. 3.2.8. Результат створення моделі вікна

Застосовуючи описаний вище перелік дій, створюються усі інші унікальні елементи моделі, інші типи вікон, інші типи дверей і тд.



Рис. 3.2.9. Цифрове зображення дверей

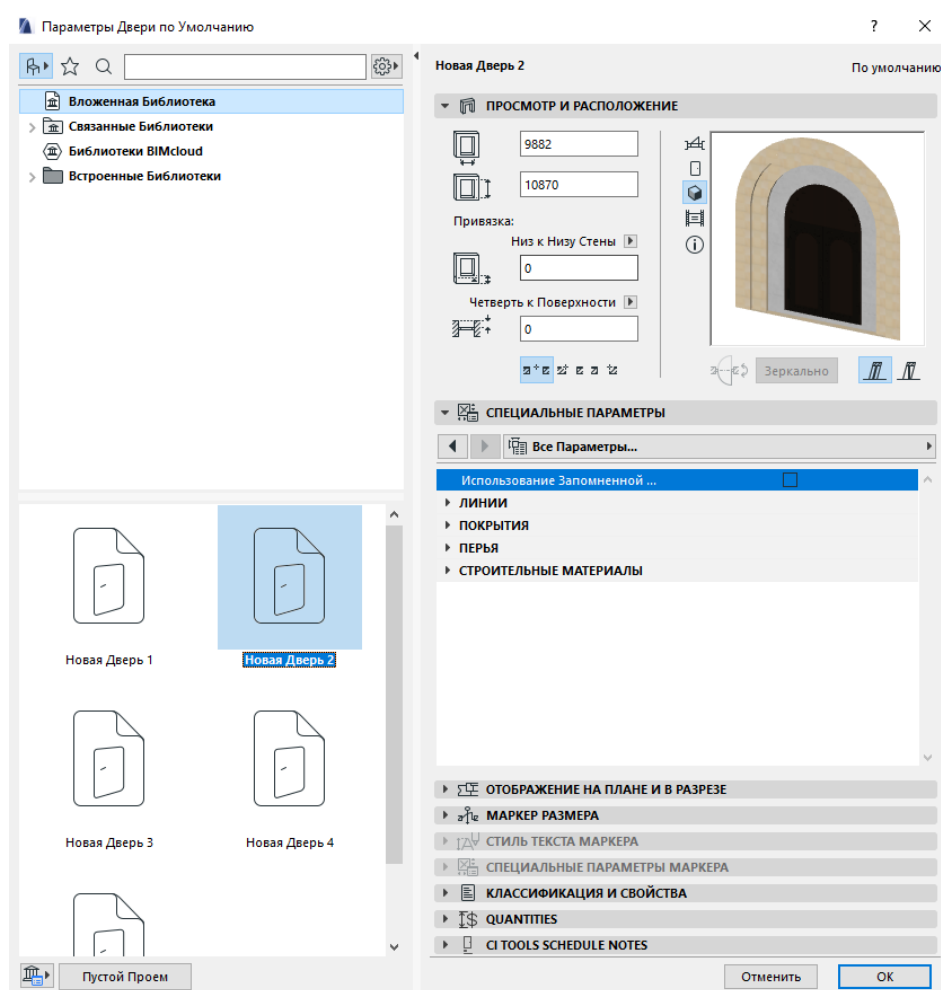


Рис. 3.2.10. Налаштування параметрів дверей

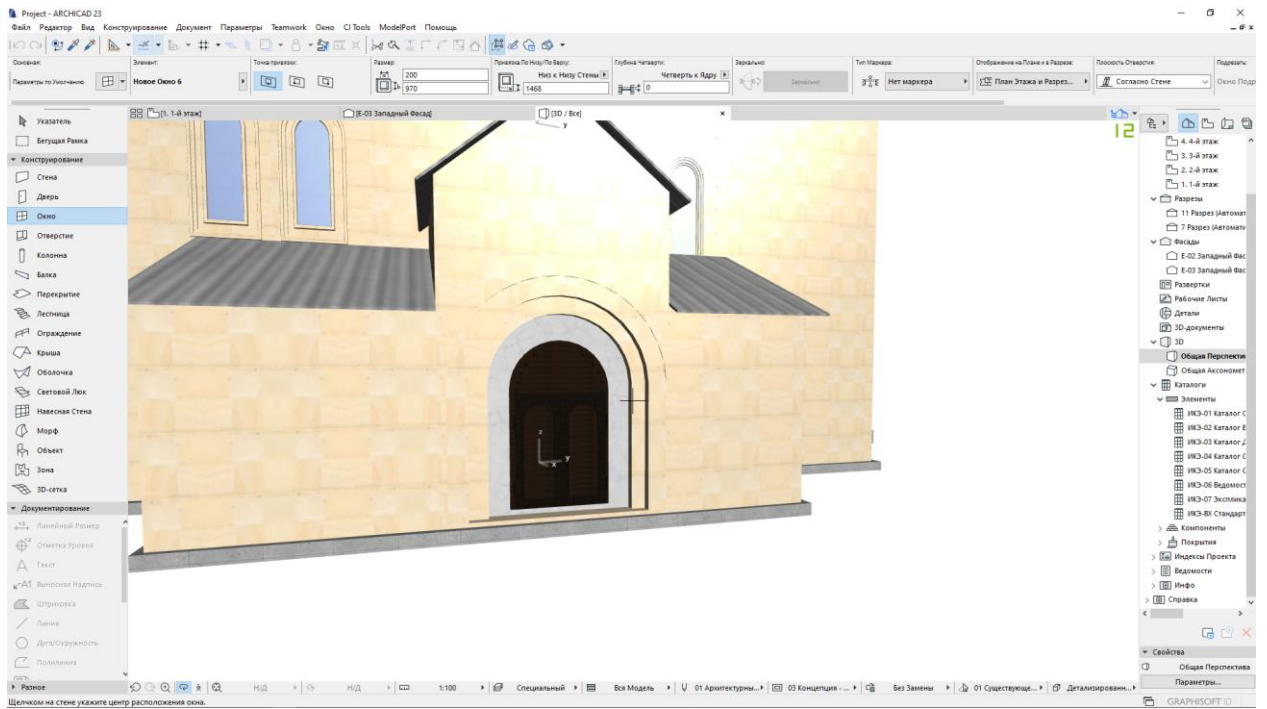


Рис. 3.2.11. Результат створення дверей

Ще один приклад вже іншого типу дверей (рис. 3.2.12, 3.2.13)

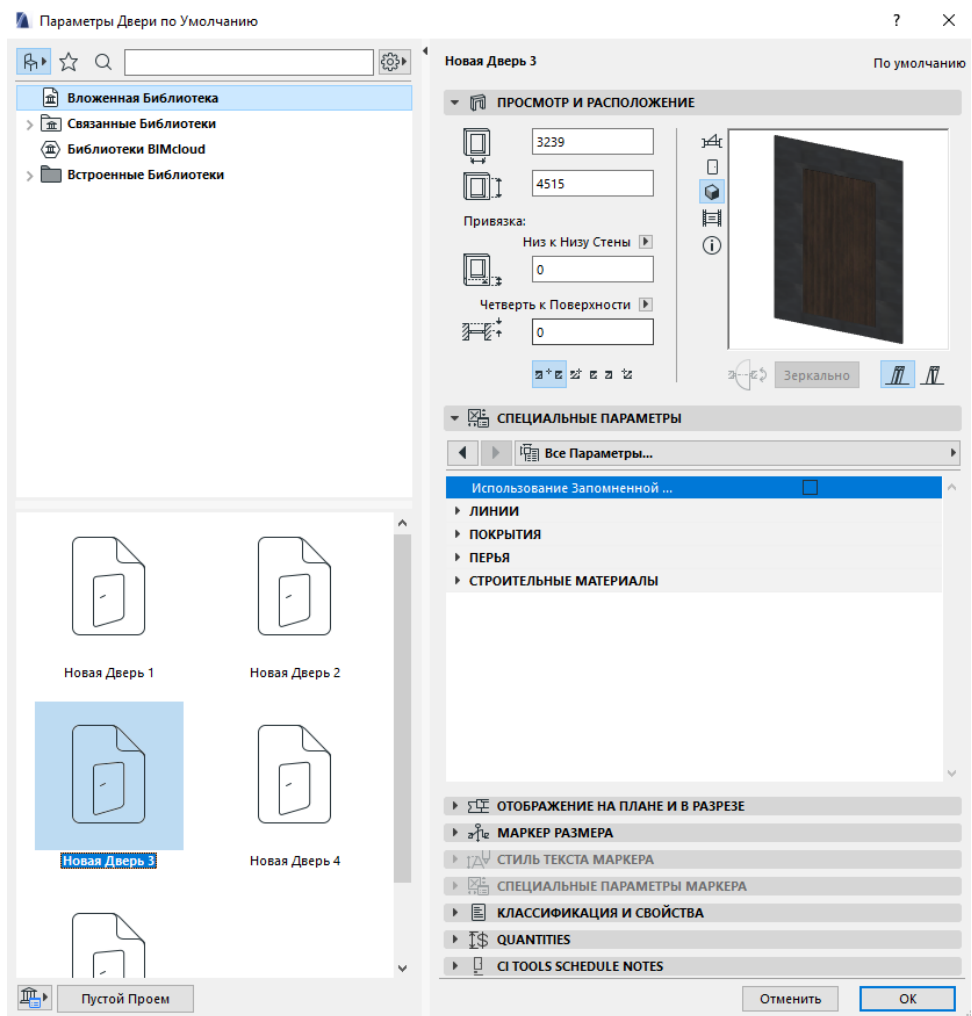


Рис. 3.2.12. Налаштування параметрів іншого типу дверей



Рис. 3.2.13. Результат створення дверей

Після створення будівельних виробів, можна переходити до моделювання стін об'єкта дослідження.

Необхідно вибрати інструмент «Стіна» і перейти до налаштувань «Стіни». В цьому вікні необхідно налаштувати товщину та висоту стіни, також її матеріал та тип покриття. Покриття буде виконано шляхом накладання текстури, для цього необхідно зробити з хмари точок цифрове зображення. Після чого перейти до «Параметри» - «Реквізити Елементів» - «Покриття»

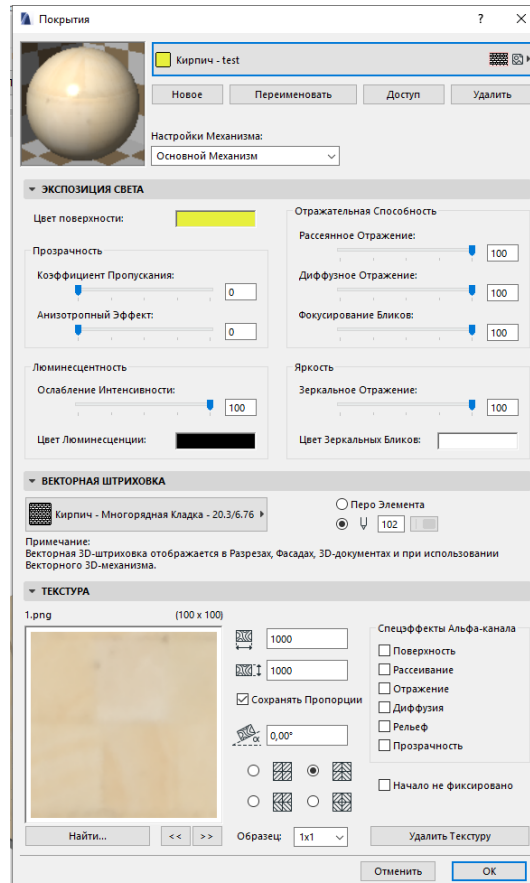


Рис. 3.2.14. Параметры накладання текстур

Після цього створене покриття буде доступне для застосування в параметрах стіни.

Всі матеріали і конструкції були припущені на основі візуального аналізу фотографій і результатів лазерного сканування. Допускається, що аналітична модель може не мати зв'язку з реальністю через велику ймовірність не вгадати той чи інший матеріал або конструкцію.

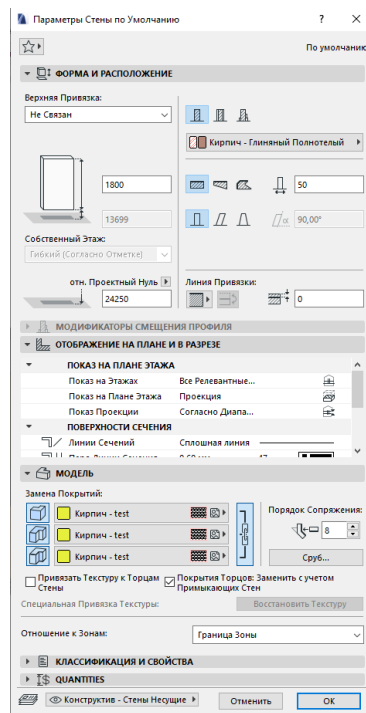


Рис. 3.2.15. Налаштування параметрів стіни

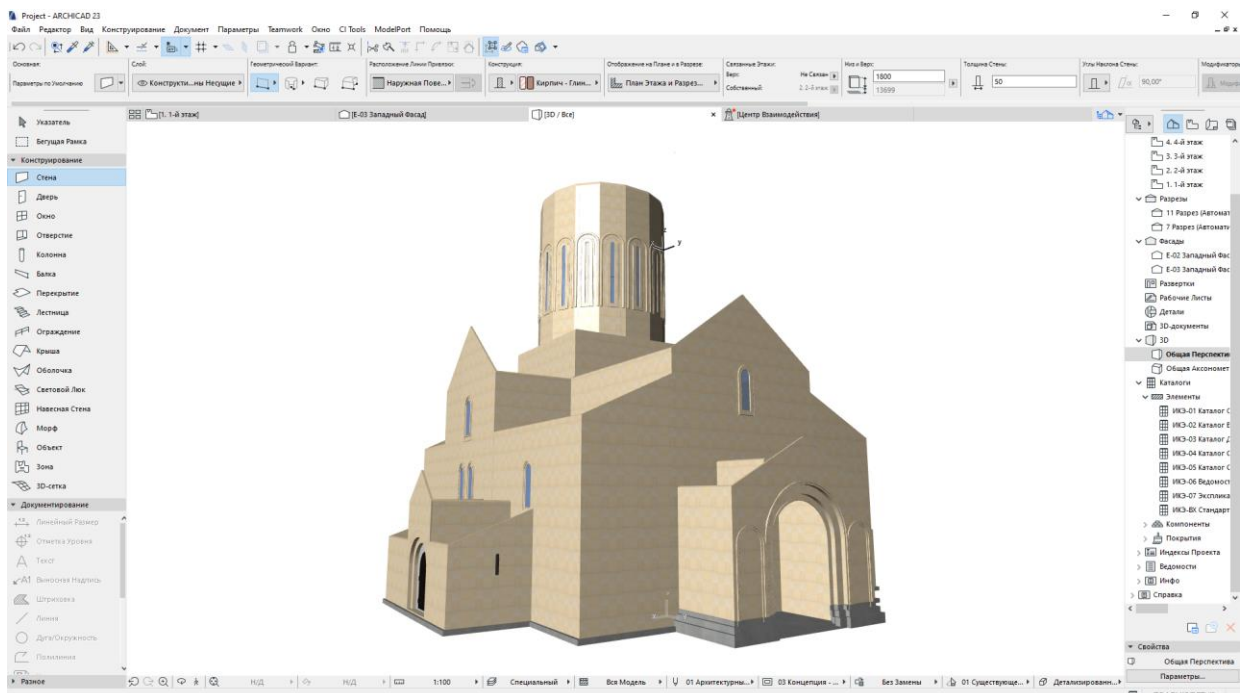


Рис. 3.2.16. Результат створення стін

Наступним етапом є створення кривлі. В ArchiCAD є дві геометричні моделі побудови: односхилий дах та багатосхилий дах. Створюючи цю модель буде використовуватися обидва типи геометричних моделей даху.

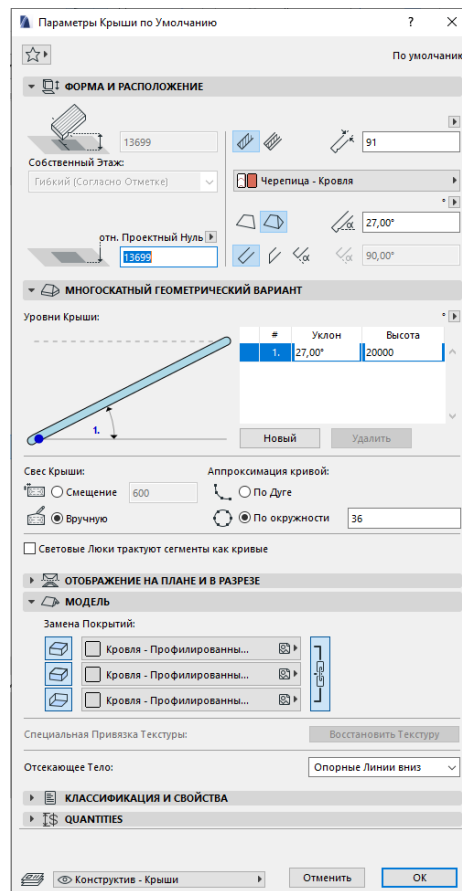


Рис. 3.2.17. Налаштування параметрів кривлі

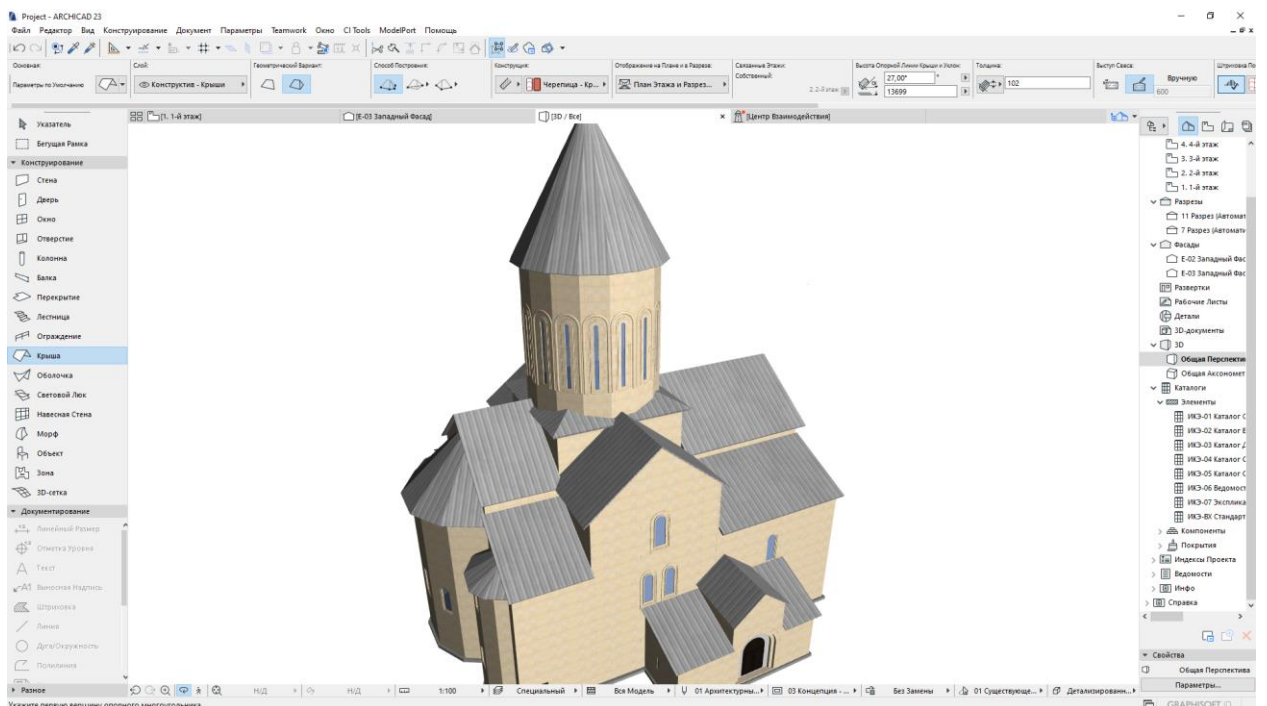


Рис. 3.2.18. Результат створеної кривлі

В результаті з хмари точок ми отримали віртуальну копію собору Сіоні. На початковому етапі створення моделі, ми мали деякий набір інформації, не дуже повний, але з достатньою інформацією для початку роботи. Після внесена в модель інформація доповнюється в залежності її надходження і модель стає більш насиченою.

Таким чином, процес створення ВІМ завжди розтягнутий у часі, оскільки може мати необмежену кількість «уточнень». А сама інформаційна модель будівлі - вельми динамічна модель, яка «живе» самостійним життям.

При цьому треба розуміти, що фізично ВІМ існує тільки в пам'яті комп'ютера. І нею можна скористатися лише за допомогою тих програмних засобів (комплексу програм), в яких вона і була створена.



Рис. 3.2.19. Результат створення ВІМ моделі об'єкта дослідження

### 3.3. Оцінка точності BIM моделі.

Інформаційне моделювання будівель (BIM) в даний час використовується в архітектурі та цивільному будівництві для інтеграції тривимірної візуальної моделі будівельних проєктів та цифрових даних різних полів із властивостями у файлі або базі даних із певним форматом. Ці платформи дозволяють дизайнерам проєктів, керівникам проєктів, будівельним підрозділам, власникам та клієнтам переглядати дизайн за допомогою тривимірної візуальної моделі та отримувати відповідні цифрові дані проєкту. Останнім часом історичне інформаційне моделювання будівель дає дуже цікаву перспективу досліджень. Головною вимогою використання BIM для представлення та огляду історичної архітектури є якість моделі та її надійність щодо геометрії. Друга умова передбачає додавання вичерпної бази даних історичних записок стосовно кожного компонента про матеріали та зміни протягом часу. Якщо моделі зможуть відповідати цим вимогам, уникаючи жорстких обчислень процесів, то історичне інформаційне моделювання будівель відіграватиме ключову роль у реставрації, репрезентації та передачі культурно-побутової спадщини. Цей тип моделей пропонує масу переваг при отриманні безпосередньо двовимірних креслень та в управлінні великим обсягом даних щодо кожної фігури. Специфічним завданням у 3D-моделях, заснованих на реальності, є розробка простих методів отримання BIM-моделей для культурної спадщини, які гарантують відповідність геометричній точності. Ця робота демонструє доцільність цілого підходу BIM для складних архітектурних форм, починаючи з хмари точок.

Якісна та кількісна оцінка точності для 3D BIM собору Сіоні проведена за допомогою програмного забезпечення з відкритим кодом CloudCompare, використовуючи хмару точок як еталон.

Програмне забезпечення може порівняти хмару точок (файл формату .e57) та модель, експортовану із програмного забезпечення ArchiCAD (файл формату .obj). (рис. 3.3.1)

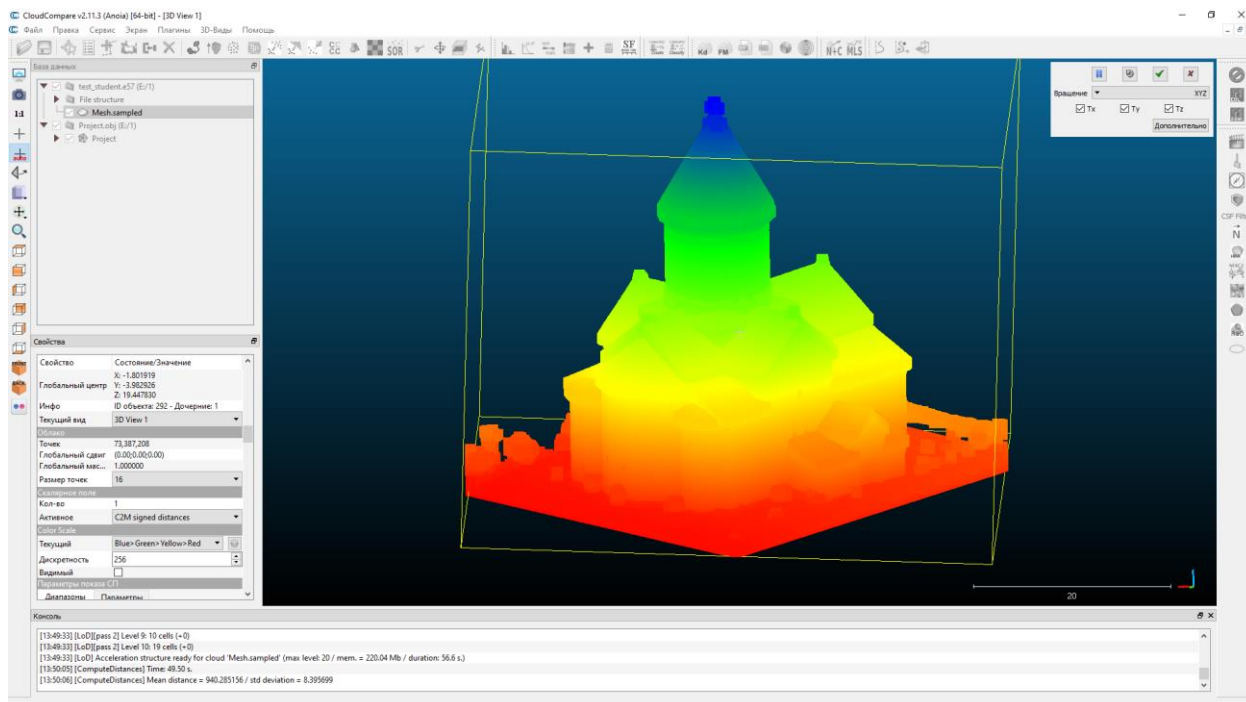


Рис. 3.3.1. Оцінка точності 3D BIM в програмному забезпеченні Cloudcompare.

Червоним (рис. 3.3.1) відображені елементи які відсутні при створенні BIM моделі, такі як земля біля собору, дерева та люди. Отримана модель продемонструвала можливість побудови реальної 3D-моделі з хорошою точністю в середовищах BIM. Це є вирішальним кроком у виконанні стандартів з метою забезпечення інформаційного моделювання будівель та нових підходів до управління.

Точність моделі складала відхилення менше 9 см, що цілком достатньо для вирішення задач моніторингу і подальшого проектування в рамках реконструкції або планування життєвого циклу споруди.

### Висновки:

Запропонований підхід реалізовано на прикладі BIM моделювання історичної будівлі собору Сіоні, що виконано із застосуванням технології наземного лазерного сканування в програмному забезпеченні ArchiCAD.

Точність моделі складала відхилення менше 9 см, що цілком достатньо для вирішення задач моніторингу і подальшого проектування в рамках реконструкції або планування життєвого циклу споруди.

## ВИСНОВОК

Аналіз стану використання BIM в Україні свідчить про значні зміни на законодавчому рівні в напрямку становлення, впровадження та активного використання технології в Україні.

Виникнення поняття історичного інформаційного моделювання будівель (Historical Building Information Modeling, HBIM) зумовлено необхідністю високоточного і ефективного моніторингу стану історичних та культурних пам'яток, збереження яких є надважливим завданням сучасного світу.

Розроблена методика BIM моделювання об'єктів культурної спадщини складається з чотирьох основних етапів – визначення цілей розробки BIM та збір даних, створення базової моделі, виконання аналізу характеристик будівлі, передача даних та ґрунтується на використанні бази геопросторових даних у складі реєстрів основних конструктивних елементів: стіни, кривля, фундамент.

Запропонований підхід реалізовано на прикладі BIM моделювання історичної будівлі собору Сіоні, що виконано із застосуванням технології наземного лазерного сканування в програмному забезпеченні ArchiCAD.

Точність моделі склала відхилення менше 9 см, що цілком достатньо для вирішення задач моніторингу і подальшого проектування в рамках реконструкції або планування життєвого циклу споруди.

Дослідна реалізація запропонованих методів свідчить про високу ефективність технології при високоточному моделюванні об'єктів культурної спадщини. Завдяки використанню хмари точок, BIM може легко стати середовищем, яке створює повні інженерні креслення для збереження історичної споруди, включаючи тривимірну документацію, орфографічні проекції, розрізи та деталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Eastman, Charles; Fisher, David; Lafue, Gilles; Lividini, Joseph; Stoker, Douglas; Yessios, Christos (September 1974). An Outline of the Building Description System. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University.
2. Van Nederveen, G.A.; Tolman, F.P. (1992). «Modelling multiple views on buildings». Automation in Construction 1 (3): 215-24. doi:10.1016/0926-5805(92)90014-B
3. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)-BASED DESIGN OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS Chung-Suk Cho, Don Chen, and Sungkwon Woo <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S31-1.pdf>
4. BIM implementation strategies /Howard Ashcraft, Dennis R.Shelden/Gehry technologies 2007
5. FROM TLS TO HBIM. HIGH QUALITY SEMANTICALLY-AWARE 3D MODELING OF COMPLEX ARCHITECTURE — Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/276507410\\_From\\_TLS\\_to\\_HBIM\\_high\\_quality\\_semantically-aware\\_3D\\_modeling\\_of\\_complex\\_architecture](https://www.researchgate.net/publication/276507410_From_TLS_to_HBIM_high_quality_semantically-aware_3D_modeling_of_complex_architecture)
6. Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S., 2013. Historic Building Information Modeling—Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing,76, 89-102.
7. Шлепаков Л.Н. Системы с базами данных по решению задач распознавания и классификации информационных сообщений // Интеллектуализация сист. обраб. инф. сообщ. – К. : НАНУ, 1995. – С. 11–38.
8. В.Талапов BIM: что под этим обычно понимают // — Режим доступу: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=14078](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14078)
9. Козлова Т.І. Інформаційна модель нерухомого об'єкта культурної спадщини як новий інструмент роботи в музеєфікаційній практиці. // Вісник Томського державного університету. Історія. 2013, 3 (23), с. 33-37,

10. Building Information Modelling: An Introduction to BIM. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rmjm.com/building-information-modelling-an-introduction-to-bim/>;

11. Технология BIM или архитектурный конвейер. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=15034](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15034);

12. Марина Король Британцы сообщили миру, что такое BIM уровня 3: это – Digital Built Britain — Режим доступа: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17570](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17570)

13. Марк Бью, Мервин Ричардс BIM Task Group, — Режим доступа: <http://digital-built-britain.com>

14. BIM для культурного наследия: Разработка информационной модели исторического здания / Пол Брайан, София Антонопулу. — [б. м.]: Издательские решения, 2019. — 106 с. ISBN 978-5-4496-5142-6

15. Концепція впровадження BIM в Україні // Афанасьєв Дмитро – с. 115

## ДОДАТОК А

### Каталог об'єктів та атрибутів БГД

<b>Назва типу</b>	<b>Об'єкт культурної спадщини</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	<b>Obj kulturnoyi spadshiny</b>				
<b>Код типу</b>	<b>10 200 000</b>				
<b>Визначення</b>	Тип об'єкта, що включає в себе інформацію про стан, площу, місцеположення об'єкта і т.п.				
<b>Опис атрибутів</b>					
<b>id</b>	<b>Ідентифікатор просторового об'єкта</b>				
<b>Визначення</b>	Ідентифікатор просторового об'єкта представляє собою унікальний ідентифікатор об'єкта, який може бути використаний для посилання на просторовий об'єкт				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010201
<b>Домен</b>	0<id<20			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Name</b>	<b>Назва</b>				
<b>Визначення</b>	Повна назва будівлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010202
<b>Домен</b>	0<Nazva<255			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Date</b>	<b>Дата створення</b>				
<b>Визначення</b>	Дата створення будівлі				
<b>Тип даних</b>	Date	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010203
<b>Домен</b>	Дата			<b>Одиниця виміру</b>	мм/дд/рррр гг:хх:сс
<b>Stan</b>	<b>Стан</b>				
<b>Визначення</b>	Загальний стан будівлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010204
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Location</b>	<b>Місцеположення</b>				
<b>Визначення</b>	Адреса будівлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010205
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Area</b>	<b>Площа</b>				
<b>Визначення</b>	Площа будівлі				

<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010206
<b>Домен</b>	Площа будівлі в кв.км			<b>Одиниця виміру</b>	Кв.км
<b>Тип</b>	<b>Тип</b>				
<b>Визначення</b>	Тип будівлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010207
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Примітка</b>	<b>Примітка</b>				
<b>Визначення</b>	Примітки				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Неосновний	<b>Код</b>	010208
<b>Домен</b>	0<Примітка<255			<b>Одиниця виміру</b>	-

<b>Назва типу</b>	<b>Вікна</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	<b>Vikna</b>				
<b>Код типу</b>	<b>10 300 000</b>				
<b>Визначення</b>	Тип об'єкта, що включає в себе інформацію про вікно, матеріал, ширина і т.п.				
<b>Опис атрибутів</b>					
<b>id</b>	<b>Ідентифікатор просторового об'єкта</b>				
<b>Визначення</b>	Ідентифікатор просторового об'єкта представляє собою унікальний ідентифікатор об'єкта, який може бути використаний для посилання на просторовий об'єкт				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010301
<b>Домен</b>	0<id<20			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Material</b>	<b>Матеріал</b>				
<b>Визначення</b>	Назва матеріалу з якого зроблено вікно				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010302
<b>Домен</b>	Матеріал			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Рокryтyа</b>	<b>Покриття</b>				
<b>Визначення</b>	Покриття вікна				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010303

<b>Домен</b>	0< Pokrytya<1000			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Товщина</b>	<b>Товщина</b>				
<b>Визначення</b>	Товщина вікна				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010304
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Vysota</b>	<b>Висота</b>				
<b>Визначення</b>	Висота вікна				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010305
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Stan</b>	<b>Стан</b>				
<b>Визначення</b>	Стан вікна				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010306
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Type</b>	<b>Тип</b>				
<b>Визначення</b>	Тип вікна				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010307
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Prymitka</b>	<b>Примітка</b>				
<b>Визначення</b>	Примітки до відповідного вікна				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Неосновний	<b>Код</b>	010308
<b>Домен</b>	0<Prymitka<255			<b>Одиниця виміру</b>	-

<b>Назва типу</b>	<b>Двері</b>
<b>Ідентифікатор типу</b>	<b>Dveri</b>
<b>Код типу</b>	<b>10 400 000</b>
<b>Визначення</b>	Тип об'єкта, що включає в себе інформацію про двері, матеріал, висота і т.п.
<b>Опис атрибутів</b>	
<b>id</b>	<b>Ідентифікатор просторового об'єкта</b>

<b>Визначення</b>	Ідентифікатор просторового об'єкта представляє собою унікальний ідентифікатор об'єкта, який може бути використаний для посилання на просторовий об'єкт				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010401
<b>Домен</b>	0<id<20			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Material</b>	<b>Матеріал</b>				
<b>Визначення</b>	Назва матеріалу з якого зроблена дверь				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010402
<b>Домен</b>	Матеріал			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Pokrytya</b>	<b>Покриття</b>				
<b>Визначення</b>	Покриття дверей				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010403
<b>Домен</b>	0< Pokrytya<1000			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Tovwyna</b>	<b>Товщина</b>				
<b>Визначення</b>	Товщина дверей				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010404
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Vysota</b>	<b>Висота</b>				
<b>Визначення</b>	Висота дверей				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010405
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Dovgyna</b>	<b>Довжина</b>				
<b>Визначення</b>	Довжина дверей				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010406
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Stan</b>	<b>Стан</b>				
<b>Визначення</b>	Стан дверей				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010407
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Type</b>	<b>Тип</b>				
<b>Визначення</b>	Тип дверей				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010408

<b>Домен</b>		<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Примітка</b>	<b>Примітка</b>		
<b>Визначення</b>	Примітки до відповідної стіни		
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Неосновний
		<b>Код</b>	010409
<b>Домен</b>	0<Примітка<255	<b>Одиниця виміру</b>	-

<b>Назва типу</b>	<b>Кривля</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	<b>Krivlya</b>				
<b>Код типу</b>	<b>10 500 000</b>				
<b>Визначення</b>	Тип об'єкта, що включає в себе інформацію про кривлю, матеріал, стан і т.п.				
<b>Опис атрибутів</b>					
<b>id</b>	<b>Ідентифікатор просторового об'єкта</b>				
<b>Визначення</b>	Ідентифікатор просторового об'єкта представляє собою унікальний ідентифікатор об'єкта, який може бути використаний для посилання на просторовий об'єкт				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010501
<b>Домен</b>	0<id<20			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Material</b>	<b>Матеріал</b>				
<b>Визначення</b>	Назва матеріалу з якого зроблена кривля				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010502
<b>Домен</b>	Матеріал			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Рокрyта</b>	<b>Покриття</b>				
<b>Визначення</b>	Покриття кривлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010503
<b>Домен</b>	0< Рокрyта<1000			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Товщyна</b>	<b>Товщина</b>				
<b>Визначення</b>	Товщина кривлі				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010504
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м

<b>Stan</b>	<b>Стан</b>				
<b>Визначення</b>	Стан кривлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010505
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Type</b>	<b>Тип</b>				
<b>Визначення</b>	Тип кривлі				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010506
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Prumitka</b>	<b>Примітка</b>				
<b>Визначення</b>	Примітки				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Неосновний	<b>Код</b>	010507
<b>Домен</b>	0<Prumitka<255			<b>Одиниця виміру</b>	-

<b>Назва типу</b>	<b>Фундамент</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	<b>Fundament</b>				
<b>Код типу</b>	<b>10 600 000</b>				
<b>Визначення</b>	Тип об'єкта, що включає в себе інформацію про фундамент, матеріал, висота і т.п.				
<b>Опис атрибутів</b>					
<b>id</b>	<b>Ідентифікатор просторового об'єкта</b>				
<b>Визначення</b>	Ідентифікатор просторового об'єкта представляє собою унікальний ідентифікатор об'єкта, який може бути використаний для посилання на просторовий об'єкт				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010601
<b>Домен</b>	0<id<20			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Material</b>	<b>Матеріал</b>				
<b>Визначення</b>	Назва матеріалу з якого зроблено фундамент				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010602
<b>Домен</b>	Матеріал			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Pokrytya</b>	<b>Покриття</b>				
<b>Визначення</b>	Покриття				

<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010603
<b>Домен</b>	0< Pokrytya<1000			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Товщина</b>	<b>Товщина</b>				
<b>Визначення</b>	Товщина фундаменту				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010604
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Area</b>	<b>Площа</b>				
<b>Визначення</b>	Площа фундаменту				
<b>Тип даних</b>	Float	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010605
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	м
<b>Stan</b>	<b>Стан</b>				
<b>Визначення</b>	Стан фундаменту				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010606
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Type</b>	<b>Тип</b>				
<b>Визначення</b>	Тип фундаменту				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010607
<b>Домен</b>				<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Prumitka</b>	<b>Примітка</b>				
<b>Визначення</b>	Примітки				
<b>Тип даних</b>	Char	<b>Статус</b>	Неосновний	<b>Код</b>	010608
<b>Домен</b>	0<Prumitka<255			<b>Одиниця виміру</b>	-

## ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

					<b>МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА</b>						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розроблення методики ВІМ                      моделювання об'єктів                      культурної спадщини</i>						
Виконав		Ніколаєнко Д.В.							Літ.	Арк.	Аркушів
Консульт.											
Керівник		Горковчук Ю.В.							74		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.							КНУБА, група ГІСТ-61		