



№ 37 (2025) С. 20–28
National Academy of Fine Arts and Architecture
Collection of Scholarly Works
«Ukrainian Academy of Art»
ISSN 2411–3034
Website: <http://naoma-science.kiev.ua>

УДК 72.012.1
ORCID ID: 0009-0003-7065-6865
ORCID ID: 0000-0003-2009-1491
DOI <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-37-3>

Єлизавета Андрусенко

*здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня
факультету архітектури
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
lisa.andrusenko@naoma.edu.ua*

Анатолій Давидов

*кандидат архітектури, доцент
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
anatoliy.davydov@naoma.edu.ua*

ТРАНСФОРМАЦІЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ТА ЗАСОБІВ ПРЕЗЕНТАЦІЇ АРХІТЕКТУРНИХ ПРОЄКТІВ: ІСТОРИЧНИЙ ТА СУЧАСНИЙ КОНТЕКСТИ

Анотація. *Метою статті є аналіз еволюції інструментарію проєктування та засобів презентації архітектурних проєктів, а також визначення впливу інноваційних технологій на процес формоутворення. Методи дослідження:* порівняльний історичний аналіз традиційних та інноваційних інструментів архітектора, аналіз наукових досліджень за темою, вивчення досвіду впровадження комп'ютерних технологій у проєктування. **Результати дослідження.** *В ході дослідження проаналізовано етапи розвитку архітектурного проєктування у взаємозв'язку з еволюцією інструментарію та засобів візуалізації. Встановлено, що кожен історичний період характеризувався специфічними засобами проєктування, які безпосередньо впливали на формоутворення, композиційні рішення та стилістичні особливості архітектури відповідної доби. Зокрема, визначено, що поява нових інструментів – від макетування до цифрового моделювання – не лише оптимізувала процес проєктування, але й трансформувала архітектурну мову, уможливаючи більш складні просторові рішення. Висновки.* Проведене дослідження дає змогу простежити еволюцію методів архітектурного проєктування – від ручних креслень та макетування до сучасних цифрових інструментів. Це допомагає краще зрозуміти вплив технологічного прогресу на архітектурну практику, зміну підходів до формоутворення, проєктної документації та взаємодію між учасниками будівельного процесу. Результати можуть бути використані під час навчання для вдосконалення методів архітектурного проєктування.

Ключові слова: *архітектура, архітектурне проєктування, архітектурна графіка, макет, цифрові технології, параметричне моделювання, BIM, інформаційне моделювання, VR, геометричні алгоритми, 3D-дизайн.*

TRANSFORMATION OF ARCHITECTURAL DESIGN TOOLS AND PRESENTATION METHODS: HISTORICAL AND MODERN CONTEXTS

Yelyzaveta Andrusenko

First-Year Student of the Second (Master's) Level of Higher Education

Faculty of Architecture

National Academy of Fine Arts and Architecture

lisa.andrusenko@naoma.edu.ua

Anatoliy Davydov

PhD in Architecture, Associate Professor

National Academy of Fine Arts and Architecture

anatoliy.davydov@naoma.edu.ua

Abstract. *The purpose of this article is to analyze the evolution of design tools and means of presenting architectural projects, as well as to determine the impact of innovative technologies on the process of form-making. The research methods include comparative historical analysis of traditional and innovative architectural tools, review of relevant scientific studies, and examination of the experience of implementing computer technologies in the design process. Research results. The study analyzes the stages of architectural design development in connection with the evolution of tools and visualization techniques. It has been established that each historical period was characterized by specific design methods that directly influenced form-making, compositional decisions, and the stylistic features of the architecture of that era. In particular, it is noted that the emergence of new tools – from physical modeling to digital simulation – not only optimized the design process but also transformed architectural language, enabling more complex spatial solutions. Conclusions. The research makes it possible to trace the evolution of architectural design methods – from hand-drawn sketches and physical models to modern digital tools. This helps to better understand the impact of technological progress on architectural practice, the transformation of approaches to form-making, project documentation, and interaction between stakeholders in the construction process. The results can be applied in educational contexts to improve methods of architectural design.*

Key words: *architecture, architectural design, architectural graphics, model making, digital technologies, parametric modeling, BIM, information modeling, VR, geometric algorithms, 3D design.*

Постановка проблеми. Історична еволюція соціально-економічних взаємовідносин людства нерозривно пов'язана з розвитком архітектури та будівельних технологій. Такі зміни вимагають удосконалення інструментарію та засобів презентації архітектурних рішень, створення та збереження проектної документації. Історія зберігає безліч стародавніх способів відображення архітектури, таких як креслення на камені, або на тканині, пізніше на пергаменті чи папері, виготовлення макетів та моделей. Стрімкий розвиток інструментарію архітектурного проектування відбувся наприкінці XX століття. Масштаби будівництва і розвиток комп'ютерних технологій створили умови для кардинальної зміни засобів архітектурного проектування. В епоху величезного обсягу інформації цифрові технології, які дають можливість прискорити процес, допомагають врахувати більшу кількість чинників, що впливають на формування архітектурного простору, змінюють логіку формоутворення проектних рішень. Історична еволюція методів проектування визначає пластичну мову архітектури,

формує особливості кожної епохи. З появою цифрових технологій відбулися принципові зміни, що вплинули на процеси проектування та просторову організацію, визначаючи подальший розвиток архітектури.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукові праці, присвячені розвиткові архітектурного проектування, підтверджують поступові і стрибкоподібні зміни методів та інструментів під впливом технологічного прогресу. Дослідники аналізують еволюцію креслярських і графічних технік, розвиток цифрових засобів моделювання та їхній вплив на архітектурну практику. Особливу увагу нами приділено BIM-технологіям, параметричному проектуванню і взаємодії між традиційними та інноваційними підходами до проектування.

Значну роль у вдосконаленні класичних методів проектування відіграли фундаментальні праці відомих майстрів: Марка Вітрувія Полліона (лат. Marcus Vitruvius Pollio), Філіппо Брунеллескі (італ. Filippo Brunelleschi), Андреа Поццо (італ. Andrea Pozzo), Андреа Паладіо (італ. Andrea Palladio), Ежена Віолле-ле-Дюка (фр. Eugene Emmanuel Viollet-le-Duc).

У працях, присвячених розвитку архітектурного проектування, зокрема в публікаціях А. Ортенберга (англ. Alexander Ortenberg) (1998), Ф. Айреса (англ. Phil Ayres) (2012), досліджені зміни методів та інструментів, які відбулися під впливом технологічного прогресу [1], [2]. Також нами розглянуті доповіді, оприлюднені на конференції EGOS «Культурно-історична теорія діяльності для впровадження трансформацій в архітектурі та будівництві», яка відбулась у Нідерландах (2014) [3]. Еволюції пластичної мови архітектури громадських будівель XX століття, а також питанню розвитку методів проектування присвячена дисертація Л. Тютіної (2022) [4].

Важливими для нашого дослідження є також праці А. Сазерленда (англ. Ivan Edward Sutherland), присвячені важливому етапу переходу до цифрового проектування. Праці Р. Столмана (англ. Richard Matthew Stallman) і Д. Моулта (англ. Dion Moult) підкреслюють значення відкритих цифрових платформ та OpenBIM як демократичного підходу до архітектурного середовища.

У роботах сучасних дослідників О. Олатунджі (англ. Oluwale Alfred Olatunji) (2011), М. Малевчик (пол. Michał Malewczuk) (2021), К. Комарова, Б. Казаряна (2023), А. Давидова, В. Нестеренка (2024), М. Ломбарді (англ. Matteo Lombardi), Д. Ріцці (англ. Dario Rizzi) (2024), М. Шефер (англ. Matt Sheffer) (2024) йдеться про оптимізацію проєктних процесів за допомогою нових технологій, що прискорюють процес проектування і дають можливість для більшої варіативності рішень.

Розглянуто як приклад повноцінної реалізації BIM-моделі та використання параметричного моделювання проєкти «The Edge» в Амстердамі, архітектурної студії PLP Architecture та Al Bahar Towers в Абу-Дабі, запроєктований архітектурною студією Aedas.

Виклад основного матеріалу. Історія архітектурного проектування розпочинається з первісних графічних позначень, які використовувалися для виділення простору, елементів забудови або простих форм. Архітектурні креслення (як інструмент для передачі задумів та проєктів) виникли тоді, коли людство ще тільки починало структурувати свої поселення. У найдавніших палеолітичних печерах знаходять малюнки, на яких, ймовірно, зображені концептуальні карти територій або споруд, такі як примітивні хати або поселення.

Перші архітектурні креслення зафіксовані ще в Стародавньому Єгипті. Тоді архітектори

використовували папірус та інші матеріали для створення планів храмів, пірамід тощо. Згідно з дослідженнями, одним із ранніх прикладів архітектурних креслень є план гробниці Рамзеса IV, виконаний на папірусі і є важливим свідченням розвитку тогочасних геометричних і проєктних знань. Римські інженери також залишили чимало креслень, особливо тих, що стосуються будівництва складних інженерних об'єктів, таких як акведуки та форуми, що свідчить про високу майстерність архітектурної графіки того часу.

Один з найдавніших і найвпливовіших трактатів про архітектуру «De architectura» став джерелом теоретичних засад, які визначали архітектурну думку впродовж століть, його автор – Марк Вітрувій Полліон – римський архітектор і інженер у 80-х рр. до н. е. [5]. У своїй праці він систематизував знання про будівництво, пропорції, матеріали та міське планування, заклавши основу для класичної архітектури (архітектурний ордер). Вітрувій стверджував, що архітектура має базуватися на трьох принципах: міцності (*firmitas*), корисності (*utilitas*) і красі (*venustas*).

В епоху Ренесансу архітектурне креслення вийшло на новий рівень розвитку завдяки науковому підходу до форми та пропорцій. Ренесансне уявлення про зображення як «вікно у світ» ґрунтувалося на евклідовій концепції кінечних перетинів. Архітектори доби Відродження прагнули коригувати оптичні спотворення, забезпечуючи ідеальне сприйняття простору. Водночас геометризація перспективи залишалася радше теоретичним концептом, аніж універсальним практичним інструментом у процесі створення архітектурних форм [2].

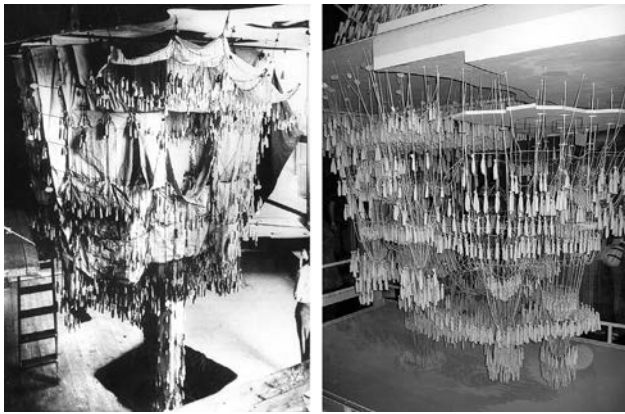
Великий італійський архітектор і скульптор епохи Відродження Ф. Брунеллескі створив дерев'яний макет купола собору Санта-Марія-дель-Фьоре у Флоренції, який слугував не лише візуальним зразком, але й технічним орієнтиром для будівництва. Його модель демонструвала інноваційну систему кладки без опалубки, що стало революційним досягненням в архітектурі XV століття (іл. 1).

Архітектурний малюнок завжди був ключовим інструментом професії, але його роль змінювалася. Колись він розмежовував освічених архітекторів і ремісників, а з XVIII століття став засобом комунікації для будівельної спільноти.

Трактат А. Поццо «Perspectiva Pictorum et Architectorum», написаний у 1693 році став



Іл. 1. Ф. Брунеллескі. Дерев'яний макет купола собору Санта-Марія-дель-Фйоре. Флоренція. [6]



Іл. 2. А. Гауді. Модель з навантаженням зовнішньої форми криниці Колонії Гуеля. [10; 11]

перехідною працею, де запропоновано покрокові інструкції для перспективного малюнка. Унікаючи складної геометричної теорії, автор створив прості правила та практичні приклади; йдеться про фактично перший зручний посібник із перспективи, завдяки якому простір сприйняття став ототожнюватися з перспективним зображенням.

Як впливає з досліджень, розвиток архітектурних інструментів не відбувався за лінійною схемою поступового вдосконалення, а радше формувався під впливом культурного і професійного контекстів. Американський інженер Г. Петроскі (англ. Henry Petroski) стверджував, що технології покращуються поступово, у межах існуючих можливостей, натомість французький філософ Жиль Делез (фр. Gilles Deleuze) наголошував, що машини є соціальними ще до того, як вони стають технічними. Саме такі

соціальні й професійні уявлення визначають не лише межі, але й потенціал використання інструментів. Вивчення їхньої історії дає змогу переосмислити сучасні технології та відкрити нові можливості їхнього застосування [1].

Британський архітектурний критик Р. Бенем (англ. Peter Reyner Banham) зазначав, що до XIX ст. нездатність мислити без малювання стала ознакою справжнього архітектора [7].

Індустріалізація XIX століття мала величезний вплив на розвиток архітектурного проектування. У цей період активно використовують такі нові матеріали, як залізо, сталь та бетон, що значно змінило підходи до створення архітектурних форм. Водночас виникає необхідність створення більш детальних і точних креслень для будівництва великих інфраструктурних об'єктів. Архітектори використовують аксонометричні проєкції, які дають змогу краще передавати тривимірну структуру споруд. Удосконалення літографії й фотографії також відкрило нові можливості для створення копій креслень та поширення архітектурної інформації.

Французький архітектор, реставратор і теоретик Е. Віолле-ле-Дюк (фр. Eugene Emmanuel Viollet-le-Duc) відіграв ключову роль у збереженні середньовічної архітектури та розвитку архітектурної теорії XIX століття. Йому належать фундаментальні праці, зокрема «Словник французької архітектури з XI до XVI століття» («Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle») (1854) та «Бесіди про архітектуру» («Entretiens sur l'architecture») (1863), де викладені його погляди на історію та принципи архітектури. Е. Віолле-ле-Дюк вважав, що архітектура повинна бути логічною та функціональною, а форма має відповідати конструкції [8; 9]. Його ідеї значно вплинули на модерністську архітектуру XX століття, зокрема на іспанського архітектора А. Гауді (ісп. Antoni Gaudí i Cornet) та рух ар-нуво.

А. Гауді застосовував метод *funicular curve* для створення перевернутих макетів, як-от макет криниці Колонії Гуеля, виготовлений з ниток, мішечків з піском та дзеркал. Завдяки цьому методу архітектор визначав природні лінії напруження, що давало йому змогу проєктувати конструктивно ефективні та органічні архітектурні форми (іл. 2).

Історичний аналіз основних еволюційних процесів в архітектурі початку XX століття засвідчує, що тогочасні зміни були не поступовими, а мали різкий, стрибкоподібний

характер [4]. Це можна пояснити тим, що нові технічні досягнення призводили до швидких адаптацій архітектурної форми, оскільки кожен новий матеріал чи технологія вимагали нових підходів до проектування.

Архітектори ХХ століття, зокрема Ле Корбюзьє, Алвар Аалто, Антоніо Гауді та Джон Хеджук, використовували проєкції не лише як технічні інструменти, але й як засоби для виявлення нових, оригінальних і зрозумілих рішень під час проєктування. Вони досліджували простір між вимірами, акцентуючи увагу на процесі створення архітектури. Ці архітектори були переконані, що фізична взаємодія з матерією допомагає виявляти важливі тактики для створення архітектурних форм, які поєднують уяву та мрії з етичною відповідальністю перед суспільством.

Другу половину ХХ ст. можна вважати революційною в плані впровадження комп'ютерних технологій в архітектурне проєктування. Поява комп'ютерних систем дала змогу змінити саму концепцію проєктування: від ручного креслення до використання цифрових інструментів. Це допомогло архітекторам розглядати нові ідеї з абсолютно іншої перспективи. Архітектурні сфери, зазвичай, відчувають труднощі під час розв'язання проблем, пов'язаних з інтеграцією нових технологій, оскільки час і ресурси для експериментів та навчальної діяльності обмежені [3].

Ф. Чинь (Francis Ching) у праці «Архітектурна графіка» («Architectural Graphics») аналізує використання графічних методів в архітектурному проєктуванні, акцентуючи увагу на тому, як графіка допомагає створювати точні, зрозумілі та комунікативні архітектурні рішення,



Іл. 3. Візуалізація проєктного рішення у VR-режимі Twinmotion. Фрагмент курсового проєкту «Реконструкція Київської державної академії декоративно-прикладного мистецтва і дизайну імені Михайла Бойчука». (Авторка проєкту — Є. Андрусенко, керівник майстерні — А. Давидов). 2025. [Світлина Є. Андрусенко]

а також наголошує на еволюції графічних технік у контексті сучасних цифрових технологій [12].

Нинішня архітектура перебуває в епосі цифрової еволюції, де майже на всіх етапах застосовують цифрові інструменти — від програмування, виробничих технологій до штучного інтелекту з великими базами даних, які допомагають частково автоматизувати вирішення архітектурних завдань [13].

Одним із перших етапів розвитку комп'ютерного проєктування був розвиток системи Sketchpad у 1963 році, яка започаткувала сучасні програми автоматизованої розробки (Computer-aided design, CAD), що стало проривом у розвитку комп'ютерної графіки загалом. Sketchpad не тільки давала змогу створювати двовимірні креслення, але й вперше застосовувала принципи інтерактивного малювання за допомогою комп'ютера. Айвен Сазерленд стверджував у 1965 році: «Екран, підключений до цифрового комп'ютера, дає нам можливість ознайомитися з концепціями, які неможливо реалізувати у фізичному світі. Це своєрідне вікно в математичну країну чудес» [14].

Один із найбільш значущих кроків у розвитку архітектурного проєктування відбувся в 1980-х роках з появою програмного забезпечення для автоматизованого проєктування, такого як AutoCAD, що стало стандартом для багатьох архітекторів. Це дало змогу значно скоротити час на створення креслень, а також забезпечити високу точність у роботі з масштабами і деталями, водночас допомогло архітекторам точніше передавати свої ідеї, що було неможливо, коли використовували традиційні методи.

Окрім цього, розвитку зазнали і тривимірні моделі, які стали важливим етапом у процесі проєктування. Технології 3D-моделювання дали архітекторам змогу створювати не тільки точні креслення, але й реалістичні візуалізації об'єктів. Це стало важливим кроком до інтеграції тривимірного простору в процес архітектурного дизайну та будівництва.

Інформаційне моделювання будівель (BIM — Building Information Modeling) стало однією з найбільших інновацій у сучасному архітектурному проєктуванні, яка є цифровим аналогом конструкції з фізичними та функціональними характеристиками об'єкта, що дає змогу виконувати оцінювання витрат та аналіз рішень протягом життєвого циклу будівлі, включно з етапами проєктування, будівництва, експлуатації та обслуговування

і використовується в галузі архітектури, інженерії та будівництва (AEC Industry). Тобто це той інструмент, який допомагає створювати інтегровані моделі будівель з урахуванням фізичних, технічних і експлуатаційних характеристик. На відміну від CAD систем і класичного 3D-моделювання, що забезпечує лише візуалізацію архітектурного об'єкта, BIM інтегрує дані про матеріали, енергоефективність та інженерні системи. Це дає змогу об'єднати всі етапи життєвого циклу будівлі в єдиній моделі та врахувати її поведінку в реальних умовах.

Концепція BIM доповнюється ідеєю OpenBIM, розробленою організацією BuildingSMART. BIM пропонує універсальний підхід до процесу цифрового проектування, забезпечує відкритість потоку інформації між суб'єктами та підтримує управління будівлею. Стандарти OpenBIM, які просуває міжнародна організація BuildingSMART, забезпечують прозорий і відкритий робочий процес, задіюючи всі зацікавлені сторони проекту. Найбільш популярним є Industry Foundation Classes (IFC) – відкрита комерційно-нейтральна схема даних (Open Neutral Data Schema), яка регулюється стандартом ISO 16739-1. Цей стандарт регламентується Законом України «Про стандартизацію».

Системи BIM побудовані на основі процесів об'єктного параметричного моделювання. Кожен об'єкт імітує свої фізичні характеристики в реальному житті та має чітко визначені правила зв'язків з іншими об'єктами [15]. Тобто, IFC описує архітектурне середовище, включно з будівлями та будівельними роботами, у цифровій та стандартизованій формах. Відповідно до ідеї OpenBIM, проектування в цьому стандарті має бути відкритим і забезпечувати максимальний рівень співпраці [16]. Основними викликами впровадження та використання технології будівельного інформаційного моделювання у ширші процеси проектування та будівництва є висока вартість програмного забезпечення та інші супутні додаткові витрати [17]. Одним із способів подолання цих проблем є використання програмного забезпечення з відкритим кодом [18].

Відкриті дані у будівництві запобігають домінуванню однієї компанії чи технології. Прихильники руху вільного програмного забезпечення, зауважують про важливість забезпечення контролю користувачів над програмним забезпеченням. Дані та ПЗ мають бути відкритими, процес впровадження – підлягати незалежній перевірці, а розміщення – децентралізованим. Відкриті дані відіграють

ключову роль у підвищенні якості середовища: вони дають змогу перевіряти проекти та розуміти, що робить простір ефективним та комфортним. Крім того, вони забезпечують вищу точність і якість інформації, що стосується важливих аспектів проектування. Відкритість даних є передумовою для дотримання прав людини та розглядається як суспільне благо, доступне для всіх, – стверджували Р. Столмен (Richard Stallman) [19] та Д. Моулт (Dion Moulton) [20].

Такий підхід має стати стандартом для сучасних архітектурних бюро та будівельних компаній, даючи змогу розвивати ідеї сталого розвитку й оцифрування міст, що й відповідає викликам прогресивного майбутнього. Крім того, уряди багатьох країн активно впроваджують BIM на законодавчому рівні, визнаючи його переваги для підвищення ефективності та прозорості будівельних процесів, а також для розвитку міської інфраструктури.

Одним із яскравих прикладів успішного впровадження BIM є проєкт The Edge в Амстердамі. Цей офісний комплекс, спроектований архітектурною студією PLP Architecture, є яскравим прикладом «розумного» будинку, який використовує BIM для створення інтегрованої моделі, що оптимізує всі процеси – від енергоспоживання до управління робочими просторами [21].

Параметричне моделювання стало революцією в архітектурному проектуванні, давши змогу архітекторам створювати складні форми та структури, а також автоматизувати процеси проектування на основі алгоритмів і змінних параметрів. Застосування цього підходу знижує ймовірність помилок, адже зміни відбуваються через контрольовані математичні алгоритми, що допомагають швидко створювати декілька варіантів проекту та обирати найоптимальніший. Цифрові технології у параметричному проектуванні відіграють роль співавтора, безпосередньо впливаючи на формування кінцевого результату. Параметризм як напрямок з'явився у 1990-х роках XX ст., проте як термін він став загальновідомим з 2008 року, після публікації книги «Маніфест параметризму» П. Шумахера (Patrik Schumacher), знаного як директора архітектурної студії З. Хадід (Zaha Mohammad Hadid).

Одним із найвідоміших прикладів такого підходу є проєкт Al Bahar Towers в Абу-Дабі. Дві висотки, спроектовані архітектурною студією Aedas, мають динамічні фасади, які змінюють свою структуру залежно від інтенсивності сонячного освітлення. Завдяки

параметричним алгоритмам, фасади будівель автоматично адаптуються до навколишнього середовища, забезпечуючи оптимальне освітлення приміщень і знижуючи потребу в кондиціонуванні. Такий підхід до проектування дає змогу не лише створювати складні і красиві форми, але й максимально ефективно використовувати природні ресурси. У результаті параметричне моделювання відкриває нові можливості для сталого розвитку та інновацій у сфері архітектури [22].

Попередні дослідження, проведені в академічному середовищі, вже торкалися питань використання інформаційного моделювання будівель та параметричних інструментів у проектуванні, демонструючи їхнє застосування та можливості реалізації в різних архітектурних контекстах студентських проєктів [14; 23].

Застосування технологій віртуальної та доповненої реальності (VR і AR) стало наступним великим кроком в еволюції інструментів, а також у презентації архітектурних проєктів. VR дає змогу архітекторам та їхнім замовникам «перебувати» в середовищі майбутньої будівлі аж до її фактичного будівництва, що значно покращує розуміння просторових рішень і допомагає здійснювати коригування на ранніх етапах проектування.

Такі технології також відповідають новим тенденціям використання медіафасадів і зміщення акцентів в архітектурі. Згідно з дослідженням, «...пластична мова архітектури дематеріалізується і змінюється на мову візуального мистецтва», що підтверджують будівлі, в яких зовнішні фасади є не просто елементами архітектурної форми, а інтегрованими медіа-елементами для залучення уваги до проєкту [4].

На ранніх етапах проектування, використання VR-студій уможливорює швидке створення і дослідження просторових концепцій, отримуючи тривимірні моделі, які можна досліджувати в масштабі (іл. 3). Можливість оцінювати вплив елементів дизайну, аналізувати та оптимізувати рух людей у складному просторі, спираючись на користувацький досвід. Для оцінки ухвалених рішень, перевірки зручності користування та ергономічності, тестування користувачами рідко зустрічається в архітектурі з багатьох причин. Наприклад, побудова конструкцій у масштабі 1:1 або створення тестових споруд є затратними і трудомісткими. Водночас VR відкриває нові можливості для експериментів, даючи змогу швидко вносити зміни без фізичних витрат. Віртуальна реальність значно підвищує рівень користувацького досвіду завдяки таким аспектам, як занурення, масштаб, уособ-

лення, свобода дій та відчуття присутності, — зазначає М. Шефер (Matt Schaefer) [24].

У поєднанні з BIM, віртуальна реальність використовується під час навчання для створення реалістичних сценаріїв проектування та будівництва без зайвих витрат та ризиків. Це дає змогу ефективно аналізувати ситуації та покращувати навчальні результати, оскільки вони пропонують точні просторові уявлення та допомагають під час моделювання обладнання. Такий підхід сприяє глибшому розумінню операційних процесів та створенню максимально реалістичної картини фізичного розташування й робочого контексту промислових об'єктів, що робить його корисним у виробничих умовах.

Сучасні цифрові технології дають змогу архітекторам усвідомити обмеження традиційних засобів уявлення, проте найчастіше вони сприймають проектування як безперервний перехід між «бінарним» і «реальним» простором. Архітектурні креслення та моделі зазвичай розглядаються як повноцінний носій ідеї, що ігнорує феноменологічний вимір архітектури — матеріальність, ремесло та безпосередню людську взаємодію з простором. Саме проміжний простір між різними вимірами проектування відкриває нові можливості для винаходів у сучасному архітектурному процесі [2].

Штучний інтелект (ШІ) також починає відігравати важливу роль як інструмент в архітектурному проектуванні. Завдяки його алгоритмам, архітектори тепер можуть аналізувати великі обсяги даних для генерації форм, що оптимізовані за різними параметрами, такими як енергоефективність, аеродинаміка, акустичні характеристики тощо. ШІ може допомогти створювати проєкти, що не тільки виглядають інноваційно, але й є більш практичними та ефективними в умовах реального використання.

Програмне забезпечення, що інтегрує ШІ у процес архітектурного проектування, дає змогу створювати конструкції, які раніше вважались неможливими, або дуже складними для традиційного проектування. Це, зокрема, дає змогу архітекторам досягати більш високого рівня енергоефективності, оптимізуючи використання ресурсів у будівельній галузі. Такі підходи також сприяють створенню нових архітектурних стилів, що поєднують функціональність з високими екологічними стандартами.

Висновки і перспективи використання результатів дослідження. Отже, інструментарій проектування: подання архітектурної документації та методи проектування еволюційно змінювалися — від зображень на камені чи глині, папірусі,

тканині або папері, від макетів до тривимірних моделей та анімаційних зображень. Кожен етап не лише додавав нові можливості, але й переосмислював роль архітектора в процесі творення простору. Сучасні цифрові інструменти відкривають безпрецедентні можливості для інтеграції різних підходів, поєднуючи точність, гнучкість та міждисциплінарний підхід у розробці архітектурних рішень. Вони суттєво впливають на формоутворення: збільшують кількість варіантів, які можна оперативнo моделювати, аналізувати і змінювати, що значно прискорює процес проєктування, що саме собою перетворюється

на цикл дослідження, симуляції й адаптації, де форма — це не кінцева мета, а результат взаємодії даних і задуму. Нові інструменти не лише розширюють межі можливого, але й вимагають від архітектора нових навичок — роботи з алгоритмами, симуляціями та сценаріями використання простору. Подальше дослідження буде спрямоване на визначення взаємозв'язку між можливостями інструментарію зі стильовими, планувальними, просторовими особливостями відповідного історичного періоду еволюції архітектури, що дає розуміння впливу інструментарію на формування пластичної мови сучасної архітектури.

Список використаних джерел

1. Ortenberg A. The Project of Architecture and the Tools of its Construction: The Shifts and Delays in the History of Drawing Media and Equipment. Proceedings of the 86th Annual Meeting of the ACSA. 1998. P. 668–677.
2. Ayres P. Persistent Modelling: Extending the Role of Architectural Representation. 1st ed. Routledge, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203782545> (дата звернення: 14.04.2025).
3. Aksenova G., Tahrani S., Forgues D. Cultural-Historical Activity theory for introducing transformations in architecture and construction. A case study. Conference: EGOS 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/267332415_Cultural-Historical_Activity_theory_for_introducing_transformations_in_architecture_and_construction_A_case_study (дата звернення: 14.04.2025).
4. Тютіна Л. В. Еволюція пластичної мови архітектури громадських будівель ХХ століття : дис. ... д-ра філос. : 191 «Архітектура та містобудування» / Тютіна Любов Веніамінівна ; НАОМА. Київ, 2022. 226 с. URL: <http://195.20.96.242:5068/kvnaoma-xmlui/handle/123456789/268?show=full> (дата звернення: 14.04.2025).
5. Vitruvii P. De architectura libri decem. Venetiis: Apud Franciscum Franciscum Senensem, & Ioan. Crugher Germanum, 1567. URL: <https://archive.org/details/mvitrvviipollion00vitr> (дата звернення: 14.04.2025).
6. Невідомий автор. (2018). Модель купола та частини апсиди собору Санта-Марія-ін-Фйоре [Фотографія]. upc.edu. URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173639/Elogio%20de%20una%20carta.pdf> (дата звернення: 23.06.2025).
7. Reyner B. Theory and design in the first machine age. Cambridge Mass : MIT Press, 1980. URL: <https://archive.org/details/theorydesignin00banh/mode/2up> (дата звернення: 14.04.2025).
8. Viollet-le-Duc E. Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle. Paris : A. Morel et Cie éditeurs, 1858. URL: <https://archive.org/details/raisonnedelarchi01viol> (дата звернення: 14.04.2025).
9. Viollet-le-Duc E. Entretiens sur l'architecture. Tome premier. Paris : A. Morel et Cie éditeurs, 1863. URL: <https://archive.org/details/frapn02-entretiens-sur-l-architecture-t-1-1863> (дата звернення: 14.04.2025).
10. Невідомий автор. (2002). Maqueta polifuncular [Фотографія]. Wikimedia. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maqueta_polifuncular.jpg (дата звернення: 23.06.2025).
11. Sanaan. (2009). Maqueta funicular [Фотографія]. Wikimedia. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maqueta_funicular.jpg (дата звернення: 23.06.2025).
12. Ching F. Architectural Graphics. Taiwan : Van Nostrand Reinhold Company, 1985.
13. Комаров К., Казарян Б. Оптимізація розробки студентських архітектурних проєктів за допомогою технології Rhino.Inside®.Revit. Збірник наукових праць «Українська академія мистецтва». 2023. № 33. С. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2023-33-2>.
14. Sutherland I. E. The Ultimate Display. Proceedings of IFIP Congress. 1965. Т. 2. Р. 506–508. URL: <https://scispace.com/papers/the-ultimate-display-35zd3b9ucp> (дата звернення: 14.04.2025).
15. Lombardi M., Rizzi D. Semantic modelling and HBIM: A new multidisciplinary workflow for archaeological heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2024. Vol. № 32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00322>.
16. Industry Foundation Classes (IFC) URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> (date of access: 14.04.2025).
17. Olatunji O. Modelling the costs of corporate implementation of building information modelling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*. 2011. № 16. P. 211–231. DOI: <https://doi.org/10.1108/13664381111179206>.
18. Malewczuk M. The usage of the openBIM idea in architectural design on the example of Blender and BlenderBIM add-on. *Gdańsk University of Technology*. 2021. № 2 (66). P. 99–104. DOI: <https://doi.org/10.37190/arc210210>.
19. Stallman R. Free Software, Free Society. Boston : Free Software Foundation, 2022. URL: gnu.org/philosophy/fsfs/rms-essays.pdf (дата звернення: 14.04.2025).
20. Moulton D. The ethical implications of OpenBIM. URL: <https://thinkmoulton.com/ethical-implications-of-openbim.html> Дата публікації: 25.03.2019 (дата звернення: 14.04.2025).
21. The Edge/PLP Architecture. URL: <https://plparchitecture.com/the-edge/> (дата звернення: 14.04.2025).

22. Cilento K. Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas. ArchDaily. 2012. 05 Sep. URL: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> (дата звернення: 14.04.2025).
23. Давидов А., Нестеренко В. Переваги та перспективи використання Rhino.Inside. *Вісник Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури*. 2024. № 2. С. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-2> (дата звернення: 14.04.2025).
24. Schaefer M. Designing in VR. URL: <https://www.mattschaeferdesign.com/designing-in-vr> (дата звернення: 14.04.2025).

References

1. Ortenberg, A. (1998). The Project of Architecture and the Tools of its Construction: The Shifts and Delays in the History of Drawing Media and Equipment. In *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the ACSA* (pp. 668–677) [in English].
2. Ayres, P. (2012). *Persistent Modelling: Extending the Role of Architectural Representation*. Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203782545> [in English].
3. Aksenova, G., Tahrani, S., & Forgues, D. (2014). Cultural-Historical Activity Theory for Introducing Transformations in Architecture and Construction. A Case Study. Conference: EGOS 2014. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/267332415_Cultural-Historical_Activity_theory_for_introducing_transformations_in_architecture_and_construction_A_case_study [in English].
4. Tyutina, L. (2022). Evolyutsiya plastychnoyi movy arkhitektury hromadskykh budivel' XX stolittia [The evolution of the plastic language of the architecture of public buildings of the 20th century] [Dysertatsiia doktora filosofii]. Retrieved from: <http://195.20.96.242:5068/kvnaoma-xmlui/handle/123456789/268> [in Ukrainian].
5. Vitruvii, P. (1567). *De architectura libri decem*. Venetiis. Retrieved from: <https://archive.org/details/mvitrvviipollion00vitr> [in Latin].
6. Unknown author. (2018). Model of the dome and parts of the apse of the Cathedral of Santa Maria in Fiore [Photo]. upc.edu. Retrieved from: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173639/Elogio%20de%20una%20carta.pdf> (date of access: 23.06.2025).
7. Reyner, B. (1980). *Theory and design in the first machine age*. Cambridge, Mass. Retrieved from: <https://archive.org/details/theorydesignin00banh/mode/2up> [in English].
8. Viollet-le-Duc, E. (1858). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. A. Morel et Cie éditeurs. Retrieved from: <https://archive.org/details/raisonnedelarchi01viol> [in French].
9. Viollet-le-Duc, E. (1863). *Entretiens sur l'architecture*. (Tome premier). A. Morel et Cie éditeurs. Retrieved from: <https://archive.org/details/frapn02-entretiens-sur-l-architecture-t-1-1863> [in French].
10. Unknown author. (2002). Maqueta polifuncular [Photo]. Wikimedia. Retrieved from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maqueta_polifuncular.jpg (date of access: 23.06.2025).
11. Canaan. (2009). Maqueta funicular [Photo]. Wikimedia. Retrieved from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maqueta_funicular.jpg (date of access: 23.06.2025).
12. Ching, F. (1985). *Architectural Graphics*. Van Nostrand Reinhold Company [in English].
13. Komarov, K., & Kazarian, B. (2023). Optyimizatsiya rozrobky students'kykh arkhitekturnykh proiektiv za dopomohoyu tekhnolohiyi Rhino.Inside®. Revit. [Optimization of the development of student architectural projects with help of technology Rhino.Inside®. Revit.]. *Zbirnyk naukovykh prats «Ukrainska akademiia mystetstva» [Collection of scientific works “Ukrainian Academy of Mystery”]*, 33, 17–24. DOI: <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2023-33-2> [in Ukrainian].
14. Sutherland, Ivan E. (1965). The Ultimate Display. *Proceedings of IFIP Congress*, 2, 506–508. Retrieved from: <https://scispace.com/papers/the-ultimate-display-35zd3b9ucp> [in English].
15. Lombardi, M., & Rizzi, D. (2024). Semantic modelling and HBIM: A new multidisciplinary workflow for archaeological heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00322> [in English].
16. Industry Foundation Classes (IFC) Retrieved from: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> [in English].
17. Olatunji, O. (2011). Modelling the costs of corporate implementation of building information modelling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 16, 211–231. DOI: <https://doi.org/10.1108/13664381111179206> [in English].
18. Malewczuk, M. (2021). The usage of the openBIM idea in architectural design on the example of Blender and BlenderBIM add-on. *Gdańsk University of Technology*, 2, 99–104. DOI: <https://doi.org/10.37190/arc210210> [in English].
19. Stallman, R. (2002). *Free Software, Free Society*. Free Software Foundation. Retrieved from: <https://gnu.org/philosophy/fsfs/rms-essays.pdf> [in English].
20. Moul, D. (2019). The ethical implications of OpenBIM. Retrieved from: <https://thinkmoul.com/ethical-implications-of-openbim.html> [in English].
21. The Edge PLP Architecture (n.d.). Retrieved from: <https://plparchitecture.com/the-edge/> [in English].
22. Cilento, K. (2012. 05 Sep.). Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas. ArchDaily. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> [in English].
23. Davydov, A., & Nesterenko, V. (2024). Perevahy ta perspektyvy vykorystannya Rhino.Inside [Advantages and prospects of using Rhino.Inside]. *Visnyk Natsionalnoi akademii obrazotvorchoho mystetstva i arkhitektury [Bulletin of the National Academy of Fine Arts and Architecture]*, 2, 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-2> [in Ukrainian].
24. Schaefer, Matt. (n.d.). Designing in VR. Retrieved from: <https://www.mattschaeferdesign.com/designing-in-vr> [in English].

Подано до редакції 14.04.2025