

УДК 72.01:001.18:004

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.106.1049

## ВПЛИВ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРОЦЕС АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

ХАРЧЕНКО К. С.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ТОВСТИК Т. М.<sup>2</sup>, доц.,  
ДЬЯКОНОВ Д. М.<sup>3</sup>, здобувач

<sup>1\*</sup> Кафедра дизайну та реконструкції архітектурного середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.: +38 (056) 756-93-37, e-mail: [design@pdaba.edu.ua](mailto:design@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1908-4852

<sup>2</sup> Кафедра дизайну та реконструкції архітектурного середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.: +38 (056) 756-93-37, e-mail: [design@pdaba.edu.ua](mailto:design@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-5980-4543

<sup>3</sup> Кафедра дизайну та реконструкції архітектурного середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.: +38 (056) 756-93-37, e-mail: [design@pdaba.edu.ua](mailto:design@pdaba.edu.ua)

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Комп'ютерні технології стають все більше популярними в архітектурній галузі і їх використання може мати як позитивні, так і негативні наслідки. Розвиток комп'ютерних технологій суттєво змінив підхід до проектування в архітектурі. Проте залежність від комп'ютерних технологій може спричинити втрату вмінь аналізувати та проектувати об'єкти архітектури самостійно. *Мета статті* – проаналізувати вплив комп'ютерних технологій на архітектуру та оцінити перспективу цього впливу в майбутньому. *Висновок.* Сьогодні комп'ютерні технології використовуються скрізь. Розвиток технологій моделювання та будівництва забезпечує нові можливості у сфері архітектури. Використання комп'ютерних технологій на всіх етапах будівництва дозволяє архітекторам створювати все складніші проекти з високою точністю та ефективністю. Застосування нових технологій у сфері архітектури дозволить забезпечувати більш комплексний підхід до проектування, який може охоплювати більше необхідних характеристик. Генеративний дизайн може бути використаний, щоб забезпечити більш ефективний та точний процес проектування. Віртуальна та доповнена реальність (VR та AR) надають широкий спектр можливостей для проектування, моделювання архітектурних об'єктів. За допомогою BIM-технологій створюється інформаційна модель, яка забезпечує точне бачення проєкту в цілому. Важлива складова цієї технології – єдиний інформаційний простір, база даних. Штучний інтелект може створювати тисячі варіантів будівель. Питання, як більш раціонально використовувати ресурси (часові, матеріальні, людські), стало одним із ключових питань сучасності. Комп'ютерні технології допомагають вирішувати ці проблеми та винаходити нові методи проектування та будівництва архітектурних об'єктів. Україна, як одна з найбільше диджиталізованих країн світу, швидко впроваджує новітні технології в робочі процеси проектування, що викличе позитивні зміни архітектурного іміджу держави.

**Ключові слова:** комп'ютерна графіка; параметричне моделювання; віртуальна реальність; доповнена реальність; генеративний дизайн; BIM-технології

## THE INFLUENCE OF THE DEVELOPMENT OF COMPUTER TECHNOLOGIES ON THE PROCESS OF ARCHITECTURAL DESIGN

KHARCHENKO K.S.<sup>1\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
TOVSTYK T.M.<sup>2</sup>, Assoc. Prof.,  
DIAKONOV D.M.<sup>3</sup>, Recipient of a Scientific Degree

<sup>1\*</sup> Department of Design and Reconstruction of the Architectural Environment, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.: +38 (056) 756-93-37, e-mail: [design@pdaba.edu.ua](mailto:design@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1908-4852

<sup>2</sup> Department of Design and Reconstruction of the Architectural Environment, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.: +38 (056) 756-93-37, e-mail: [design@pdaba.edu.ua](mailto:design@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-5980-4543

<sup>3</sup> Department of Design and Reconstruction of the Architectural Environment, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.: +38 (056) 756-93-37, e-mail: [design@pdaba.edu.ua](mailto:design@pdaba.edu.ua)

**Abstract. Problem statement.** Computer technology is becoming increasingly popular in the architectural field, and its use can have both positive and negative consequences. Computer modeling allows architects to create and analyze designs faster and more accurately, which improves the quality and efficiency of construction. The development of computer technologies has significantly changed the approach to design in architecture. However, dependence on computer technologies can lead to the loss of the ability to analyze and design architectural objects independently. **Purpose of the article.** To analyze the impact of computer technology on architecture and to assess the perspective of this impact in the future. **Conclusion.** Today computer technology is used everywhere. The development of modeling and construction technologies provides new opportunities in the field of architecture. The use of computer technology at all stages of construction allows architects to create increasingly complex projects with high accuracy and efficiency. The use of new technologies in the field of architecture will allow to provide a more complex approach to design, which can cover more characteristics necessary to take into account. Generative design can be used to provide a more efficient and accurate design process. Virtual and augmented reality (VR and AR) provide a wide range of opportunities for designing and modeling architectural objects. With the help of BIM technology, an information model is created, which provides an accurate vision of the project as a whole. An important component of this technology is a single information space, a database. Artificial intelligence can create thousands of building options. The question of how to use resources more rationally (time, material, human) is one of the key issues of our time. Computer technologies help solve these problems and invent new methods of designing and building architectural objects. Ukraine, as one of the most digitized countries in the world, is rapidly introducing the latest technologies into the design work processes, which will lead to positive changes in the state's architectural image.

**Keywords:** *computer graphics; parametric modeling; virtual reality; augmented reality; generative design; BIM-technologies*

**Постановка проблеми.** З розвитком суспільства архітектура не може стояти на місці. Технологічний розвиток дає нові можливості людству та одразу створює нові проблеми для суспільства. Архітектори сучасності повинні передбачати можливі наслідки своїх проєктів та їх вплив на людей. Трансформація свідомості під тиском новітніх технологій відбувається дуже швидко, тому архітектура повинна бути максимально гнучкою для забезпечення потреб сьогодення.

Наразі неможливо уявити сучасні сфери життєдіяльності людини без використання комп'ютерних технологій. Їх розвиток має також і значний вплив на архітектурну діяльність. Проєктування за допомогою комп'ютерного моделювання дозволяє архітекторам створювати більш складні й точні моделі, які можуть виконувати все більш комплексні завдання. Проте велика залежність від комп'ютера може спричинити втрату креативності та вмінь самостійної роботи архітектора та певної складності у взаємодії людини з пристроєм.

Використання новітніх технологій може спричинити й низку етичних проблем, пов'язаних із розвитком штучного інтелекту.

**Аналіз публікацій.** Аналіз статей, присвячених комп'ютерним технологіям в архітектурі, доводить, що розвиток будівництва тісно пов'язаний з еволюцією технологій. Цифрові технології дозволяють архітекторам та іншим проєктним командам знизити витрати на проєктування та будівництво, зменшити час виконання проєктів та поліпшити якість продукту. Зростання складності проєктів та необхідність швидкого та точного моделювання будівельних конструкцій якраз і забезпечується за допомогою комп'ютерних програм та технологій [1; 5; 7].

Створення точних 3D-моделей будівель та споруд дає змогу досліджувати майбутні будови та діагностувати й виправляти помилки допущені в моделюванні задовго до початку будівельних робіт. Комп'ютерні технології дозволяють створювати віртуальні макети будівель та споруд, за допомогою цього

з'являється можливість виконувати тестування та аналізувати можливі наслідки природних катастроф, таких як землетруси та урагани [2; 5; 7].

Зростання чисельності населення міст ставить нові вимоги для архітекторів. Застосування передових комп'ютерних технологій в міському плануванні значно поліпшує процес проектування й аналізу раціональності містобудівних рішень. Впровадження цифрових технологій в архітектурну діяльність зменшує час та витрати на створення складних та більш комплексних проєктів. Комп'ютерні технології – це необхідний та невід'ємний елемент у сучасному проектуванні та реалізації архітектурних споруд [ 4 ].

Застосування спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє створювати симуляції фізичних явищ та умов, дослідження яких дозволяє проектувати більш енергоефективні та комфортні умови для людей. Енергоефективність як одна з критичних характеристик кожного майбутнього архітектурного проєкту потребує більш прискіпливого вивчення та використання комп'ютерних програм для аналізу проєкту під різними кутами з метою оптимізації енергетичної ефективності об'єкта.

Комп'ютерні технології, які допомагають архітекторам-практикам, також відіграють ключову роль у навчанні молодих архітекторів. Упровадження цифрових технологій в архітектурному навчанні може допомогти студентам краще усвідомити інтерактивний процес проектування та розроблення будівельних конструкцій, а також підготувати їх до використання сучасних технологій у практичній діяльності [2; 8].

**Мета статті** – аналіз комп'ютерних технологій як інструментів архітектурного проектування; дослідження доцільності та рентабельності застосування цих методів у реальному проектуванні.

**Результати досліджень.** Комп'ютерні технології значно впливають на архітектуру будівель та споруд. Застосування їх в архітектурі дає

можливість прискорити процес проектування та скоротити витрати на розроблення проєктів. Це дозволяє архітекторам та інженерам краще візуалізувати та подавати свої ідеї у цифровому форматі, що суттєво полегшує їх розуміння та спілкування з клієнтами, замовниками та підрядниками.

Використання можливостей комп'ютерної техніки в архітектурній діяльності має безліч видів застосування від креслень до віртуальної реальності. Пізнання можливостей комп'ютерного світу в усіх його проявах дає сучасним архітекторам безліч можливостей для створення проєктів.

Один із найяскравіших прикладів застосування комп'ютерної графіки в архітектурі – використання тривимірних моделей для проектування будівель. За допомогою таких моделей можна створювати детальні та реалістичні зображення будівель, що дозволяє архітекторам та замовникам краще розуміти їх зовнішній вигляд та функціональність. Це дозволяє швидко оцінити можливі зміни та коригування проєкту [1; 5].

Ще одним прикладом застосування комп'ютерної графіки в архітектурі стало використання віртуальних реалістичних моделей будівель. Це дозволяє архітекторам та замовникам пройтися по будівлі у віртуальному просторі та оцінити її зовнішній вигляд, внутрішнє облаштування та зручність використання. Такі моделі можуть бути використані для презентацій проєктів, навчання та доповненої реальності (рис. 1). Крім того, комп'ютерна графіка дозволяє створювати симуляції, які можуть допомогти архітекторам та інженерам визначити оптимальне розташування будівлі на ділянці, вибрати найбільш ефективну систему вентиляції та освітлення, а також установити відповідність проєкту стандартам енергоефективності та безпеки.

Загалом комп'ютерна графіка дозволяє архітекторам та інженерам значно підвищити якість своїх проєктів,

прискорити процес їх розроблення, скоротити витрати та зробити проектування більш доступним для широкої аудиторії.

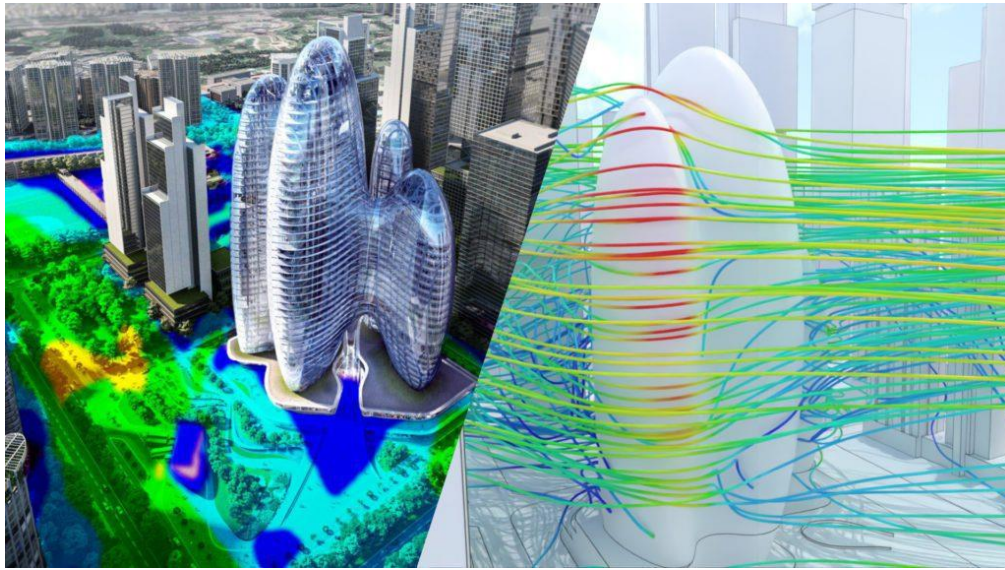


Рис. 1. Результати моделювання вітрового потоку навколо будівлі штаб-квартири OPPO. Zaha Hadid Architects

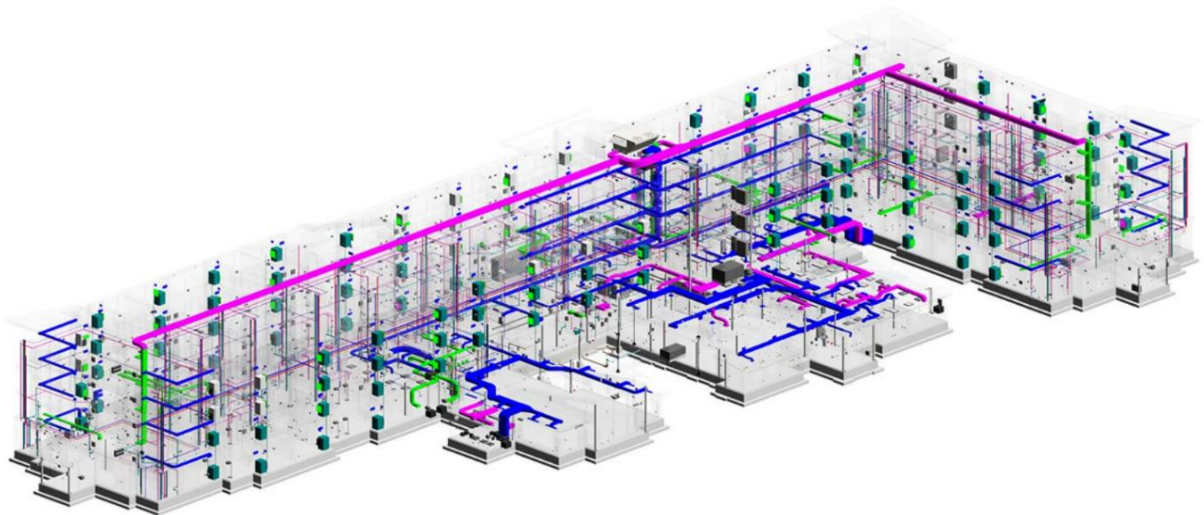


Рис. 2. Знімок BIM-моделі з проєкту в Північній Кароліні. United-BIM

Інформаційне моделювання будівлі – це технологія оптимізації процесів проектування і будівництва, в основі якої лежить використання єдиної моделі будівлі й обмін інформацією щодо будь-якого об'єкта між усіма учасниками, протягом усього життєвого циклу – від задуму власника і перших начерків архітектора до технічного обслуговування готового будинку.

Building information modeling (BIM) – це числове подання та належним чином

організована інформація про об'єкт, яка використовується на всіх етапах його життєвого циклу. За допомогою BIM-технології створюється інформаційна модель, яка забезпечує точне бачення проєкту в цілому (рис. 2).

Важлива складова цієї технології – єдиний інформаційний простір, база даних, що містить усю інформацію про технічні, правові, майнові, експлуатаційні, енергетичні, екологічні, комерційні та інші характеристики об'єкта будівництва.

Завдяки високій точності та детальному опису моделі, ця технологія дає можливість проводити різні розрахунки (наприклад, енергоефективність та енергоспоживання будівлі, комплексні розрахунки на довготривалість, вогнестійкість та міцність як усієї будівлі, так і її окремих елементів) та аналіз отриманих результатів [1].

Передумовою для еволюції автоматизованого проектування стала потреба організації ефективної роботи з величезними масивами цифрової інформації, які швидко виникають. З'явилися нові класи систем, призначені для організації та координації робіт інженерного персоналу – системи управління даними про виріб (PDM – Product Data Management) і електронні архіви. Усе це в сукупності лягло в основу

концепції управління життєвим циклом виробу – PLM (Product Lifecycle Management). В основі технології BIM лежить концепція об'єктно орієнтованого проектування (моделювання) будівель у визначеному параметричному просторі. І це параметричне моделювання стало однією з тих принципових особливостей, які відрізняють BIM-програми від усіх інших CAD-систем проектування.

Параметричний простір (Parametric Space) – це простір, у якому визначаються всі параметри, що використовуються у створенні параметричної моделі (рис. 3). У параметричному просторі кожен параметр має певне значення, яке визначає форму та властивості об'єкта. Параметри можуть бути пов'язані один з одним, що дозволяє змінювати один параметр та автоматично змінювати інші параметри.

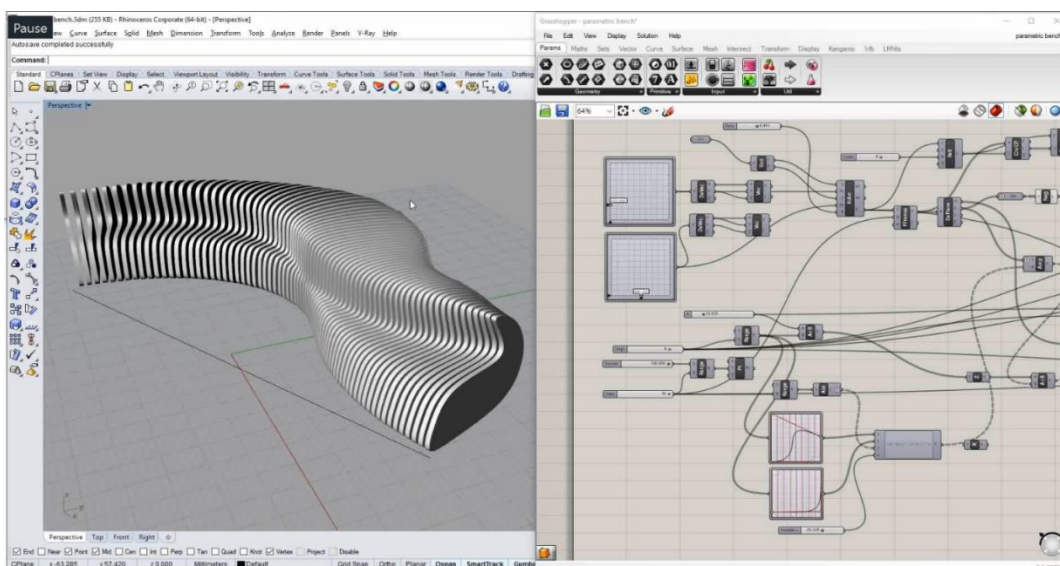


Рис. 3. Приклад моделювання у параметричному просторі, за допомогою програм Rhinoceros & Grasshopper

У параметричному просторі використовуються математичні функції, які визначають зв'язок між параметрами та дозволяють змінювати форму об'єкта при зміні параметрів. Наприклад, якщо ми розглядаємо параметричну модель будівлі, параметричний простір може включати такі параметри як висота, ширина, глибина, розташування вікон і дверей, товщина стін тощо. Якщо ми змінюємо один із параметрів, наприклад, висоту будівлі, всі інші параметри будуть

автоматично змінені відповідно до нового значення.

Параметричний простір може бути представлений у вигляді графічного інтерфейсу, де користувач може змінювати значення параметрів та бачити, як це впливає на форму об'єкта. Також параметричний простір може бути використаний для створення генеративних алгоритмів, які можуть автоматично створювати параметричні моделі на основі заданих параметрів.

Загалом, параметричний простір дозволяє архітекторам і дизайнерам створювати складні параметричні моделі, які можуть бути швидко і легко змінені, щоб враховувати вимоги та умови, які змінюються. Це дозволяє створювати більш ефективні та гнучкі проекти, які можуть бути адаптовані до різних умов та потреб [3].

Параметрична архітектура – це унікальний стиль, в якому взаємопов'язані такі поняття як скульптура, математика, архітектура. Цей стиль спрямований на створення певної моделі, що виходить за рамки простих форм і конструктивних рішень. Даний вид архітектури набув популярності з розвитком передових параметричних дизайнерських систем.

Параметризм на даний момент – найважливіший і домінуючий стиль в авангардистській практиці, що вимагає масштабності у всіх сферах, починаючи від архітектури і дизайну інтер'єру до великомасштабного міського дизайну. Для створення і проектування параметричної архітектури використовують нові сучасні комп'ютерні програми, які дозволяють не тільки параметрично моделювати, а і розробляти математичні алгоритми, логічні умови, що дозволяють знайти оптимальне розв'язання задачі в автоматичному режимі, розширює можливості для створення складних форм і структур.

Параметричні методи дозволяють працювати в реальному часі з найактуальнішими даними. Параметричний метод проектування базується на створенні алгоритмів середовища з використанням змінних параметрів. Надалі застосування цих алгоритмів дозволяє вирішити безліч питань, які або не вирішуються, або дуже трудомісткі за використання традиційного проектування.

Розвиток нових методів стає фундаментальною умовою для майбутнього успіху. Новий спосіб проектування розвивається завдяки не тільки технології, а і новому програмному забезпеченню, яке зробило параметричне

проектування доступним для архітекторів [5].

Генеративний дизайн – це підхід до дизайну, який використовує алгоритми та обчислювальну потужність для автоматичної генерації дизайнів, заснованих на заданих параметрах та обмеженнях.

Це дозволяє створювати складні форми, які нелегко створити вручну, а також досліджувати більш широкий діапазон дизайнів. У генеративному дизайні зазвичай використовуються алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту.

Генеративний дизайн може бути використаний в архітектурному проектуванні, щоб забезпечити більш ефективний та точний процес проектування. Генеративний дизайн може бути використаний для створення широкого спектра дизайнів, які можуть бути оцінені з точки зору ефективності, ергономіки, стилістики та інших параметрів [6].

Застосування генеративного дизайну може допомогти архітекторам та дизайнерам розробляти проекти швидше та ефективніше, зменшуючи кількість часу на етап концептуального планування.

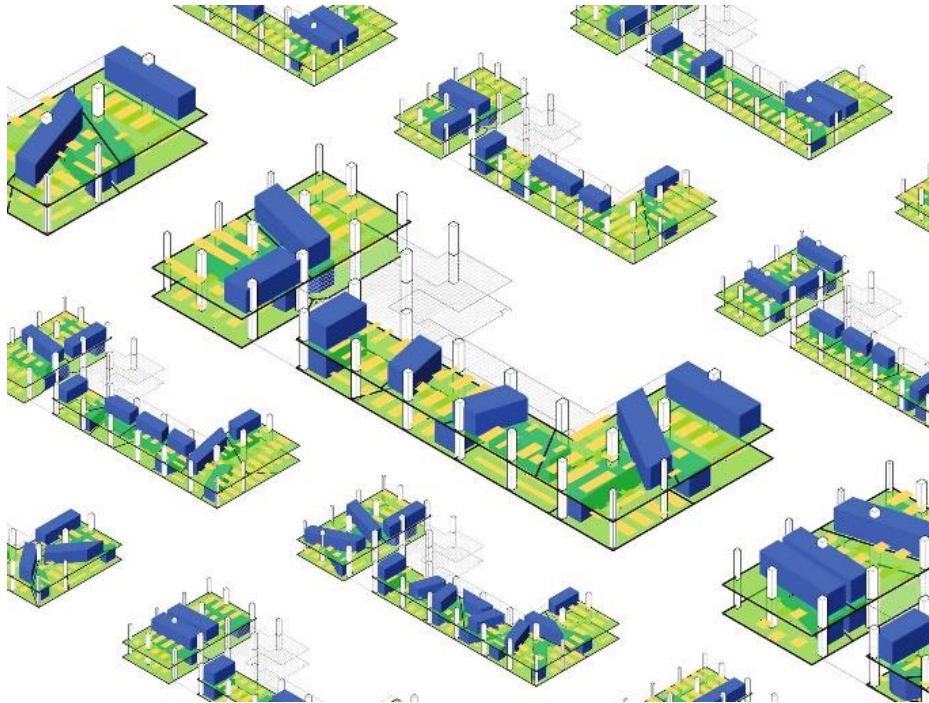
Зазвичай програми використовуються тільки як інструменти, але в генеративному дизайні вони повноцінні учасники творчого процесу. Це не означає, що програма може обійтися без участі людини — над проектом все одно повинен працювати досвідчений інженер (рис. 4).

Створення рішення за допомогою генеративного дизайну відбувається так: проектувальник дає програмі технічне завдання: перераховує обмеження, позначає перешкоди та кріпильні елементи. На базі цих обмежень програма генерує варіанти вирішення. Людина вибирає із запропонованих програмою варіантів оптимальний і за необхідності допрацьовує його.

Генеративний дизайн — приклад синергії людини та комп'ютерної програми. Тим, хто боїться розвитку

технологій через можливе повстання машин зі штучним інтелектом, треба придивитися до цього методу. Тут програми не змагаються з людьми за роботу, а допомагають формулювати

проміжні рішення. Формулювати технічне завдання, придумувати початкову ідею проекту і доводити його до ідеалу – привілей людини.



*Рис. 4: Комп'ютерні ітерації дизайну для офісу та дослідницького приміщення в Торонто. Дослідження Autodesk*

Рішення, зроблені за допомогою генеративного дизайну, нагадують природні форми, але допрацьовані та завершені. Користувачам результат такого підходу часто здається химерним на вигляд. Попри це, генеративний дизайн дає переваги виконавцю проекту і створює нову естетику [2; 6].

Віртуальна та доповнена реальність (VR та AR) надають широкий спектр можливостей для архітектури будівель та споруд:

- візуалізація проектів: VR та AR дозволяють архітекторам та клієнтам переглядати проекти будівель та споруд у тривимірному просторі. Це дозволяє краще розуміти та візуалізувати концепцію та дизайн проекту, а також робити зміни у режимі реального часу;

- тестування прототипів: VR та AR дозволяють тестувати прототипи будівель та споруд до початку будівництва. Це може допомогти виявити помилки в

дизайні та поліпшити його до початку будівництва;

- навчання: VR та AR можуть використовуватися для навчання архітекторів та будівельників нових технологій та методів будівництва. Також можна застосовувати VR та AR для навчання користувачів, як використовувати будівлі та споруди після їх зведення;

- продаж проектів: VR та AR можуть використовуватися для продажу проектів будівель та споруд клієнтам. Це дозволяє клієнтам глибше зануритися в проект і побачити, як він виглядатиме у реальному житті;

- ремонт та обслуговування: VR та AR можуть знадобитись для обслуговування та ремонту будівель та споруд. Наприклад, за допомогою VR та AR можна перевіряти та аналізувати стан будівлі та споруди до та після ремонту;

- проектування інтер'єру: VR та AR допоможуть у проектуванні інтер'єру будівель та споруд. Наприклад, за допомогою VR та AR можна побачити, як меблі будуть виглядати в кімнаті та які зміни потрібно внести, щоб поліпшити дизайн інтер'єру [8; 9].

У цілому, VR та AR дають архітекторам та будівельникам нові інструменти для поліпшення процесу проектування та зведення будівель та споруд. Ці технології можуть прискорити процес проектування, поліпшити якість та безпеку будівництва та заощадити час та гроші на всіх етапах проекту (рис. 5).

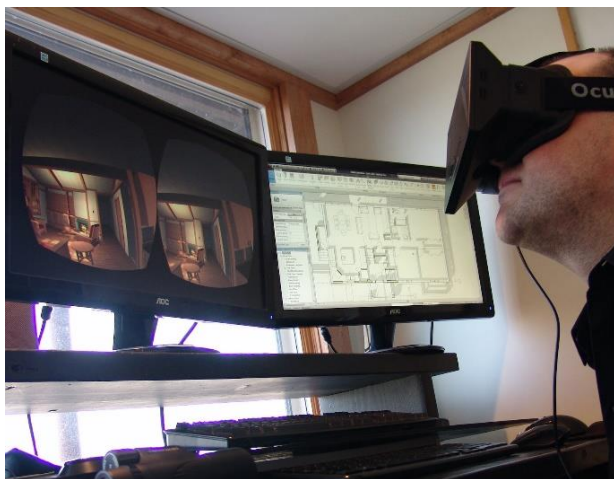


Рис. 5. Приклад використання віртуальної реальності у співпраці програм Revit та Unity

Технології VR та AR та візуалізації в реальному часі отримали додатковий розвиток завдяки індустрії відеоігор. Ігрові двигуни, такі як Unreal Engine та Unity, значно змінили підхід до візуалізації 3D-моделей у реальному часі. У процесі проектування архітектури ігрові двигуни дають змогу візуалізувати концепції та досліджувати їх у різних умовах. Це дозволяє архітекторам та клієнтам бачити проект у формі, яка більш жива та зрозуміла, що полегшує процес прийняття рішень

Ігрові двигуни також дозволяють ефективно створювати анімації та візуалізації будівельних проектів, що може бути корисно в процесі комунікації з іншими учасниками будівельного процесу [10].

### Штучний інтелект.

Новітнім інноваційним інструментом для використання в архітектурному проектуванні став штучний інтелект. Він може допомагати архітекторам та створювати більш ефективні ергономічні будівлі за допомогою алгоритмів машинного навчання.

Одна з головних переваг використання штучного інтелекту в архітектурному проектуванні – це можливість аналізувати великі обсяги даних та швидко знаходити оптимальні рішення. Штучний інтелект може створювати тисячі варіантів топологій будівель, заснованих на заданих параметрах, таких як розмір ділянки, планування та естетичні вимоги. Після генерації цих варіантів архітектор може відібрати найкращий варіант, враховуючи різні фактори, такі як ефективність та естетичність.

Крім того, штучний інтелект може допомогти архітекторам інтегрувати різні параметри та обмеження в проект, такі як безпека, енергоефективність та стійкість. Штучний інтелект може бути корисним в архітектурі та будівництві в багатьох випадках. Приклади:

*Проектування будівель.* Алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для аналізу різних аспектів проекту, включаючи конструкційні параметри, економічні показники та безпеку.

*Управління будівлями.* Ресурс штучного інтелекту знадобиться для аналізу та прогнозування споживання, а також для моніторингу системи вентиляції та освітлення.

Штучний інтелект може допомогти керувати різними аспектами будівельного проекту, оцінювати витрати та ризики, а також моніторити робочі процеси та взаємодії між різними сторонами проекту.

За рахунок штучного інтелекту можна вибрати оптимальні матеріали для будівництва, враховуючи економічні та екологічні фактори [11].



## Висновки

Розвиток комп'ютерних технологій суттєво змінив підхід до проектування в архітектурі. Впровадження цих технологій сьогодні дозволяє створювати складні інноваційні проекти, що не були можливі раніше. Застосування комп'ютерних можливостей забезпечує скорочення часу на проектування, збільшення продуктивності, поліпшення якості роботи та зменшення витрат. У результаті технології стають важливим інструментом для підвищення конкурентоспроможності в сучасному будівництві та архітектурі.

Генеративний дизайн може бути використаний, щоб забезпечити більш ефективний та точний процес проектування. Віртуальна та доповнена реальність (VR та AR) надають широкий спектр можливостей для проектування, моделювання архітектурних об'єктів. За допомогою BIM-технологій створюється інформаційна модель, яка забезпечує точне

бачення проєкту в цілому. Важливою складовою цієї технології постає єдиний інформаційний простір, база даних. Штучний інтелект може створювати тисячі варіантів будівель.

Однак використання цих технологій не бачиться безпроблемним, оскільки вимагає певних навичок та знань у галузі комп'ютерної науки та програмного забезпечення. Також застосування новітніх технологій може спричинити зниження ролі та значення ручної роботи в архітектурі та будівництві, що вплине на творчий процес та естетичний вимір проєктів.

У цілому, використання комп'ютерних технологій у сучасній архітектурі та будівництві має як переваги, так і недоліки. З урахуванням розвитку технологій та зміни попиту клієнтів, комп'ютерні технології стають невід'ємною частиною сучасного проектування та будівництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Неминуца А. Ф., Сапужак І. Я. Allplan та Revit – дві альтернативи для роботи з BIM. *Proceedings of 10th International Science Conference NOCOTE'2012 : матер. X Міжнар. наук.-техн. конф.* (11–14 вересня, 2012). 2012. С. 41–43.
2. Барабаш М. С., Кір'язев П. М., Лапенко О. І., Ромашкіна М. А. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посіб., 2-е вид. Київ : НАУ, 2019. 492 с.
3. Малік Т. В., Ємець О. А. Використання параметричного дизайну в громадських інтер'єрах. *Теорія та практика дизайну. Культура і мистецтво*. 2022. Вип. 26. С. 167–172.
4. Остапенко С. О., Харченко К. С., Остапенко Л. С. Принципи формування інноваційного архітектурного середовища. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 3. С. 114–122.
5. Сафронова О. О., Вишневська О. В. Сучасні комп'ютерні технології параметричного дизайну в громадському інтер'єрі. *Легка промисловість*. 2015. Вип. 4. С. 34–39.
6. Loris Barbieri, Maurizio Muzzupappa. Performance-Driven Engineering Design Approaches Based on Generative Design and Topology Optimization Tools : a comparative study. *Applied Scinces*. 2022. Vol. 142. Pp. 4–7.
7. Барабаш М. С., Козлов С. В., Медведенко Д. В. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій : навч. посіб. Київ : НАУ, 2012. С. 19–23, 34–38.
8. Журба М. А. Віртуальна реальність: різновекторні пошуки. *Гілея*. 2014. Вип. 86. С. 171–175.
9. Волинець В. О. Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність понять та специфіка відповідних комп'ютерних систем. *Arts and cultural, educational practices*. May 2021. Vol. 37. Pp. 231–243.
10. Lilia Potseluyko, Farzad Pour Rahimian, Nashwan Dawood, Faris Elghaish, Aso Hajirasouli. Game-like interactive environment using bim-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector. *Automation in Construction*. 2022. Vol. 142. Pp. 6–11.
11. Київська К. І., Цюцюра С. В., Кулеба М. Б. Аналіз застосування штучного інтелекту в BIM-технологіях. *Управління розвитком складних систем*. 2020. Вип. 43. С. 98–101.

## REFERENCES

1. Nemynuscha A.F. and Sapuzhak I.Ya. Allplan ta Revit – dvi alternatyvy dlia roboty z BIM [Allplan and Revit are two alternatives for working with BIM]. *Proceedings of the 10th International Science Conference NOCOTE'2012 : Materialy X Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. (11–14 veresnya, 2012)* [Proceedings of the 10th

International Science Conference NOCOTE'2012: materials X International science and technology conf. (September 11–14, 2012)]. 2012, pp. 41–43. (in Ukrainian).

2. Barabash M.S., Kiryazev P.M., Lapenko O.I. and Romashkina M.A. *Osnovy kompiuternoho modeliuvannia: navch. posibnyk* [Basics of computer modeling : training. Manual]. 2nd ed., Kyiv : NAU Publ., 2019, 492 p. (in Ukrainian).

3. Malik T. and Yemets O. *Vykorystannia parametrychnoho dyzainu v hromadskykh interierakh* [Use of parametric design in public interiors]. *Kultura i mystetstvo* [Culture and Art]. 2022, iss. 26, vol. 26, pp. 167–172. (in Ukrainian).

4. Ostapenko S.O., Kharchenko K.S. and Ostapenko L.S. [Principles of forming an innovative architectural environment]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 3, pp. 114–122. (in Ukrainian).

5. Safronova O.O. and Vyshnevska O.V. *Suchasni kompiuterni tekhnolohii parametrychnoho dyzainu v hromadskomu interieri* [Modern computer technologies for parametric design in public interiors]. *Lehka promyslovist* [Light Industry]. Vol. 4, 2015, pp. 34–39. (in Ukrainian).

6. Loris Barbieri and Maurizio Muzzupappa Performance-Driven Engineering Design Approaches Based on Generative Design and Topology Optimization Tools : a comparative study. *Applied Scinces*. Vol. 142, February 2022, pp. 4–7.

7. Barabash M.S., Kozlov S.V. and Medvedenko D.V. *Kompiuterni tekhnolohii proiektuvannia metalevykh konstruksii: navch. posib.* [Computer technologies for designing metal structures : training. manual]. Kyiv : NAU Publ., 2012, pp. 19–23, 34–38. (in Ukrainian).

8. Zhurba M.A. *Virtualna realnist : riznovektorni poshuky* [Virtual reality : multi–vectorial searches]. *Hileia* [Gilea]. 2014, vol. 86, pp. 171–175. (in Ukrainian).

9. Volynets Viktoriia. *Virtualna, dopovnena i zmishana realnist : sutnist poniat ta spetsyfika vidpovidnykh kompiuternykh system* [Virtual, augmented and mixed reality : the essence of concepts and special features of relevant computer systems]. *Arts and Cultural, Educational Practices*. Vol. 37, May 2021, pp. 231–243. (in Ukrainian).

10. Lilia Potseluyko, Farzad Pour Rahimian, Nashwan Dawood, Faris Elghaish and Aso Hajirasouli. Game-like interactive environment using bim-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector. *Automation in Construction*. Vol. 142, October 2022, pp. 6–11.

11. Kyivska Kateryna, Tsiutsiura Svitlana and Kuleba Mykola. *Analiz zastosuvannia shtuchnoho intelektu v bim-tekhnolohiiakh* [Analysis of application of artificial intelligence in BIM-technology]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Management of Development of Complex Systems]. 2020, vol. 43, pp. 98–101. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.03.2024.