

Low-Velocity Impact Loading: A Review / R. Nasr Al-Dala'ien, A. Syamsir, M. S. Abu Bakar, F. Usman, M. J. Abdullah // Journal of Composite Science. – 2023. – Vol. 7, No. 6. – P. 1–22.

5. Романович І. П., Петренко О. В. Підземні споруди цивільного захисту: розрахунок та конструктивні рішення / І. П. Романович, О. В. Петренко // Вісник будівельної науки. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 55–68.

6. Кузьменко В. М. Загальна стійкість залізобетонних конструкцій / В. М. Кузьменко // Будівельна механіка та матеріали. – 2021. – № 2. – С. 34–44.

DOI 10.70286/ISU-22.04.2026.002

ЕВОЛЮЦІЯ ТА ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗАСОБІВ АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Суліменко Ганна

кандидат технічних наук, доцент

Кафедра інформаційних технологій в архітектурі

Ботвіновська Світлана

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки

Літошенко Ганна

кандидат архітектури, доцент

Кафедра інформаційних технологій в архітектурі

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Україна

Сучасний етап розвитку архітектури характеризується активним впровадженням цифрових технологій в процес проєктування. Умови цифрової епохи та розвиток штучного інтелекту фундаментально трансформували архітектурну галузь. Ми спробуємо в цій роботі дослідити еволюцію методів проєктування – від історичних ручних креслень до сучасного інформаційного моделювання (BIM) та алгоритмічного дизайну. Особливу увагу ми приділили практичному використанню штучного інтелекту, який пришвидшує створення концепцій, оптимізує енергоефективність будівель, допомагає у плануванні розумних міст.

Штучний інтелект (ШІ) та автоматизація докорінно змінюють роль архітектора, перетворюючи його з традиційного розробника ескізів на куратора, режисера та менеджера складних інтелектуальних систем [1]. У новій парадигмі архітектор залишається головним керівником процесу, проте ШІ стає його «співавтором», який розширює творчі можливості та бере на себе рутинні обчислення.

Основні аспекти зміни ролі сучасного архітектора включають:

1. Перехід від малювання до алгоритмічного управління: в майбутньому архітектори будуть витрачати менше зусиль на безпосереднє креслення,

зосереджуючись на задовільненні вимог користувачів за допомогою ІІІ [3]. Проектування тепер базується на аналізі великої кількості компонентів, які перетворюються на складні алгоритми. Архітектор задає параметри: інсоляція, нормативи, економічні обмеження, а система генерує сотні оптимальних варіантів. [1].

2. Опанування нових професійних навичок: сучасна практика вимагає від архітектора вміння роботи з алгоритмами, симуляціями та сценаріями використання простору. Очікується поява нових спеціальностей, пов'язаних виключно з визначенням параметричних обмежень, синтезом та адаптацією математичних алгоритмів для архітектурного проектування [3]. Вже сьогодні архітектори використовують «пайплайни» – послідовності програм, що включають GIS-аналіз, BIM-моделювання, параметричний дизайн (Rhino+Grasshopper) та візуалізацію в реальному часі [6].

3. Підвищення ефективності та точності: впровадження модулів ІІІ дозволяє архітектурним студіям скорочувати час на проектування майже на 40% та знижувати кількість помилок на п'яту частину [1]. Етап передпроектного аналізу, який раніше тривав тижні, завдяки автоматизації може бути виконаний за кілька днів.

4. Розширення сфери відповідальності на весь житловий цикл будівлі: розширені можливості ролі архітектора в перспективі можуть охоплювати не лише задачу створення формоутворення, а й контроль «розумних будівель», робота та експлуатація яких повинна прив'язуватися до цифрових двійників, створених на базі BIM та ІІІ [3], що дозволить прогнозувати витрати на обслуговування та оптимізовувати енергоспоживання.

5. Контроль якості та безпеки в будівництві: за допомогою сучасних інженерних рішень – мирного використання дронів технологій, роботизованих комплексів та алгоритмів машинного навчання (Machine Learning), які, зокрема, вирішують задачі генеративного дизайну та оптимізації геометрії. Архітектори можуть здійснювати дистанційний нагляд за процесом будівництва, виявляючи дефекти та невідповідності проекту в режимі реального часу [5].

6. Естетичне та етичне кураторство над проектом: оскільки генеративні можливості штучного інтелекту базуються на сталих рішеннях та обмежені неможливістю генерувати революційно нові пропозиції, результат його генерації може стати однотипним, а в крайніх випадках виродженим або некоректним, завдяки використанню власних прототипів. Попри автоматизацію більшості процесів, архітектор повинен залишатися критичним фільтром, який оцінює результати роботи алгоритмів з точки зору культурного контексту, естетичного та, що дуже важливо, етичного сприйняття об'єктів дизайну архітектурного середовища.

Вищеперераховані трансформації професійної діяльності архітектора безпосередньо пов'язані з впровадженням інтегрованих цифрових середовищ, які об'єднують різні типи даних та етапи проектування. Одним з ключових напрямів є синергія геоінформаційних систем (GIS) та технологій

інформаційного моделювання будівель (BIM), що формують єдину цифрову платформу для роботи з об'єктом на всіх стадіях його життєвого циклу.

На рис. 1 представлена схема, що демонструє взаємодію GIS та BIM у межах цілісної системи, що охоплює основні етапи існування архітектурного об'єкта: планування, проектування, будівництво та експлуатацію. На етапі планування використовується GIS-технології, які забезпечують аналіз просторового контексту: містобудівної ситуації, інфраструктури, екологічних та транспортних факторів. Етап проектування реалізується за допомогою BIM, що дозволяє створювати інформаційно насичені цифрові моделі будівель, інтегруючи геометрію, матеріали та технічні характеристики. На стадії будівництва відбувається поєднання проєктних даних з фактичними процесами реалізації, що забезпечує контроль відповідності та управління ресурсами.

Етап експлуатації передбачає використання цифрових моделей для моніторингу стану об'єкта, прогнозування витрат та оптимізації його функціонування, зокрема через концепцію цифрового двійника, про яку було сказано вище.

Таким чином, інтеграція GIS та BIM формує безперервний інформаційний цикл, у межах якого архітектор виступає не лише як проєктувальник, а як координатор і аналітик даних протягом усього життєвого циклу об'єкта.

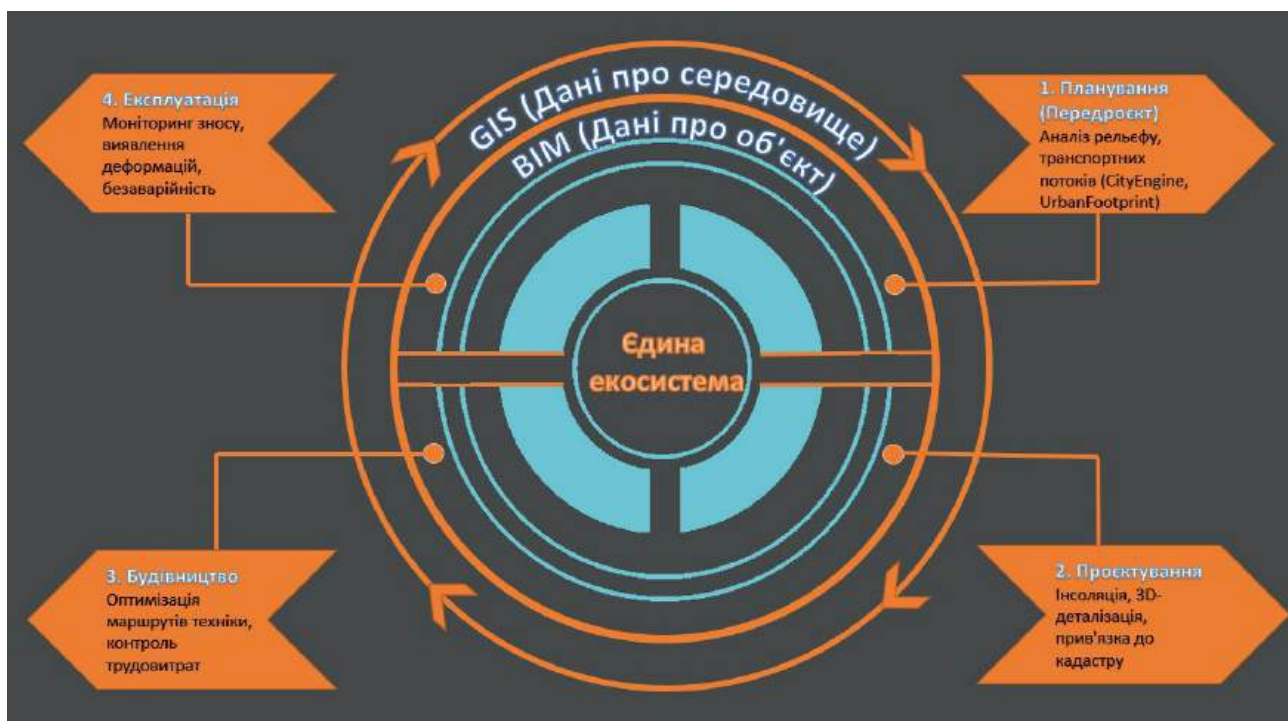


Рисунок 1. Схема взаємодії GIS та BIM у процесі планування, проектування, будівництва та експлуатації (Схему виконано особисто Суліменко Г.Г.)

Разом із розвитком інтегрованих цифрових середовищ, що забезпечують управління даними на всіх етапах життєвого циклу об'єкта, особливого значення набувають методи геометричного формоутворення, які дозволяють узгодити аналітичні можливості цифрових систем із художньо-образним мисленням архітектора [7].

Поєднання BIM-моделювання та параметричного дизайну (наприклад через інтеграцію Revit та Rhinoceros/Grasshopper) забезпечує архітекторам принципово нові можливості, дозволяючи працювати в єдиному інтелектуальному середовищі [2]. Основними перевагами такого поєднання є підвищення гнучкості та творчої свободи, завдяки тому, що параметричні методи дозволяють створювати складні геометричні та біонічні форми, які важко або неможливо реалізувати традиційними засобами; робота в режимі реального часу та обмін даними і т. ін.

У цьому контексті аналізується проблема переходу від візуального сприйняття форми до її точної математичної інтерпретації в тривимірному просторі. Незважаючи на значний розвиток параметричного та алгоритмічного моделювання, існуючі програмні засоби не завжди забезпечують можливість безпосереднього перетворення бажаного контуру в просторову конструктивну форму.

Одним із підходів до розв'язання цієї задачі є використання геометричних методів реконструкції форми на основі її перспективних характеристик.

У роботі [4] запропоновано метод геометричного моделювання еліпсоїдів у тривимірному просторі на основі їхніх перспективних зображень. Автор обґрунтовує підхід, що дозволяє трансформувати задану лінію обрису у точну об'ємну форму, заповнюючи прогалину між візуальним проектуванням та параметричним моделюванням. У дослідженні доведено важливу геометричну властивість: центр фігури, вершина дотичного конуса та центр лінії дотику належать одній прямій, що забезпечує можливість коректного перенесення параметрів із площини зображення у тривимірний простір.

Використання перспективного зображення довільної коніки дозволяє зберігати візуальний образ форми при варіативності її просторових параметрів, що створює додаткові можливості для творчого формоутворення в умовах алгоритмічного проектування.

Таким чином, запропонований підхід формує теоретичне підґрунтя для розробки нових інструментів і плагінів, орієнтованих на інтеграцію естетичних критеріїв у процес цифрового моделювання архітектурних об'єктів.

Завершальним етапом розвитку інструментів архітектурної візуалізації є впровадження імерсивних технологій, зокрема віртуальної та доповненої реальності, які змінюють сам принцип взаємодії з проектом. На відміну від традиційних методів представлення, ці технології забезпечують безпосереднє занурення у просторове середовище, дозволяючи оцінювати архітектурні рішення не лише візуально, а й через досвід перебування всередині середовища, що проектується. В результаті візуалізація трансформується з засобу демонстрації у повноцінний інструмент дослідження та перевірки проектних рішень.

Автори проаналізували еволюцію інструментів архітектурного проектування та візуалізації та встановили, що вона відображає перехід від статичних ручних методів до інтегрованих цифрових середовищ, здатних поєднувати геометричне моделювання, візуалізацію та симуляцію. Зміна

інструментарію супроводжується трансформацією пластичної мови архітектури – від описового відтворення форми до її генерації, керованої параметричними залежностями та алгоритмічними підходами. У цьому контексті автоматизована побудова перспективи на основі лінії абрису [4] розглядається як проміжна, але принципово важлива ланка, що поєднує класичні геометричні методи з цифровими технологіями.

References

1. Volha, M. (2025, September 25). AI ta arkhitektura: yak ShI formuie nove pokolinnia budivel i mist [AI and architecture: How AI shapes a new generation of buildings and cities]. AI360. <https://ai360.com.ua/ai-ta-arkhitektura-iak-shi-formuie-nove-pokolinnia-budivel-i-mist/> (Accessed April 16, 2026)
2. Davydov, A., & Nesterenko, V. (2024). Perevahy ta perspektyvy vykorystannia Rhino.Inside [Advantages and prospects of using Rhino.Inside]. Visnyk Natsionalnoi akademii obrazotvorchoho mystetstva i arkhitektury, (2), 12–16. <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-2> (in Ukrainian)
3. Andrusenko, Y., & Davydov, A. (2025). Transformatsiia instrumentariiu ta zasobiv prezentatsii arkhitekturnykh proiektiv: Istorychnyi ta suchasnyi konteksty [Transformation of tools and means of presenting architectural projects: Historical and contemporary contexts]. Ukrainian Academy of Art, (37), 20–28. <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-37-3> (in Ukrainian)
4. Sulimenko, S. Y. (2016). Konstruktyvno-parametrychnyi analiz formoutvorennia elipsoidiv za yikh liniiami obrysiv [Constructive-parametric analysis of ellipsoid formation based on contour lines]. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia, (42), 109–115. <https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/3995100b-0b67-4cf6-8428-f918b4ccef53/download> (in Ukrainian)
5. Kravchenko, O. V., & Kulyk, I. O. (2018). Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii v arkhitekturnomu proektuvanni [Use of information technologies in architectural design]. Molodyi vchenyi, (11), 138–142. <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2018/11/138.pdf> (in Ukrainian)
6. Banakh, V., Fedchenok, O., & Vorobiov, D. (2020). Suchasni heoinformatsiini ta BIM-tekhnologii u miskomu planuvanni ta utrymanni miskoi zabudovy [Modern geoinformation and BIM technologies in urban planning and maintenance of urban development]. In Formuvannia kontseptsii tsyfrovizatsii yak chynnyk rozvytku kreatyvnosti osobystosti ta yii vplyv na rozvytok liudskoho y sotsialnoho kapitalu: Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. 23–27. Helvetyka. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/27667/1/0063678.pdf> (in Ukrainian)
7. Yehorov, Y., Sazonova, O., & Lytvynenko, V. (2020). Tsyfrovi metody formoutvorennia v arkhitekturi [Digital methods of form generation in architecture]. In Formuvannia kontseptsii tsyfrovizatsii yak chynnyk rozvytku kreatyvnosti osobystosti ta yii vplyv na rozvytok liudskoho y sotsialnoho kapitalu: Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. 96–101. Helvetyka. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/27667/1/0063678.pdf> (in Ukrainian)