

Н.С. Вергунова

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна

ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АРХІТЕКТУРІ.

У статті розглянуті існуючі програмні продукти на основі імерсивних технологій з підтримкою BIM-моделювання в додатку до архітектурної діяльності. Завдяки систематизації розглянутих програм та виокремлені трьох їх різних груп на основі доповненої, віртуальної та змішаної реальності, було охарактеризовано перспективи подальшого розвитку та використання імерсивних технологій в частині вдосконалення професійного інструментарію архітектора.

Ключові слова: імерсивні технології, програмне забезпечення, доповнена реальність, віртуальна реальність, змішана реальність, BIM-моделювання, архітектура.

Постановка проблеми

Незважаючи на постійний розвиток сучасних комп'ютерів, архітектурна галузь все ще переважно покладається на традиційні форми представлення інформації за допомогою 2D-дисплеїв, включаючи числові набори даних, графіки та діаграми, креслення та візуалізації, отримані за допомогою технологій інформаційного моделювання будівель (Building Information Modelling, BIM) [1; 2].

Сучасний комп'ютерний інструментарій дозволяє використовувати передові технології візуалізації з трасуванням променів для створення фотореалістичної графіки архітектурних проєктів [3]. В останні роки інтеграція BIM-технологій з професійними платформами, такими як Autodesk Revit, мала значний вплив на архітектурну та будівельну галузі [4].

До передових інструментів візуалізації сьогодення, окрім алгоритмів ШІ [5], відносяться також і імерсивні технології доповненої (Augmented reality, AR), віртуальної (Virtual reality, VR) та змішаної реальності (Mixed reality, MR) [6], що пропонують альтернативні засоби представлення та передачі даних, отриманих на основі BIM-моделювання. Технології доповненої, віртуальної та змішаної реальності дозволяють архітекторам візуалізувати та взаємодіяти з цифровими даними, забезпечуючи імітацію їх фізичної присутності в архітектурній споруді, а отже і більш реалістичний та інтерактивний підхід у здійсненні різних етапів проєктної діяльності [7].

В дослідженнях, що окреслюють тематику використання імерсивних технологій в архітектурній діяльності, все ще простежується роз'єднаність та розрізненість в частині аспекту програмного інструментарію на основі BIM-моделювання, оскільки саме інформаційні моделі

будівель відрізняються системністю та комплексністю у представленні архітектурного проєкту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для полегшення архітектурного проєктування, що передбачає створення та організацію планування функціональних особливостей будівлі, використовується різний комп'ютерний інструментарій, в тому числі BIM-платформи. Інтеграція функціоналу цих платформ з імерсивними технологіями може забезпечити альтернативний підхід до проєктної роботи, покращити просторову обізнаність, і сприяти більш гнучкому управлінню BIM-моделлю.

Згідно Кірану Мейю (Kieran May), Джеймсу Валшу (James Walsh), Россу Сміту (Ross Smith) та Нінг Гу (Ning Gu) в частині BIM-моделювання експлуатаційних характеристик архітектурної споруди VR і AR-дисплеї надають можливість покращити візуалізацію BPS-механізмів (Building Performance Simulations), покращуючи ефект присутності та занурення [8].

Крістіан Тонн (Christian Tonn) та інші розробили спеціальну систему візуалізації SAR (Spatial augmented reality) для моделювання віртуальних архітектурних проєктів у фізичному середовищі [9]. Джад Чалхуб (Jad Chalhoub) та Стівен К. Айер (Steven K. Ayer) реалізували додаток змішаної реальності на основі BIM з використанням окулярів Microsoft HoloLens для проєктування електропроводів [10]. В дослідженні Сахіна Акіна (Sahin Akin) та інших представлено інтерактивний додаток віртуальної реальності, що поєднує BIM та інструменти енергетичного моделювання будівель для архітектурної діяльності [11].

Окремий сегмент складають дослідження, що розкривають алгоритми рендерингу BIM-моделей у

середовищі віртуальної реальності з ефектом занурення при формуванні архітектурних візуалізацій [12; 13; 14].

Мета дослідження полягає у виявленні та систематизації даних щодо інтеграції імерсивних програмних продуктів з BIM-моделюванням, та перспективами їх розвитку в архітектурній діяльності. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розглянути існуючі програмні засоби на основі імерсивних технологій з підтримкою BIM-моделювання з використанням в додатку до архітектурної діяльності;
- систематизувати розглянуті дані та охарактеризувати перспективи використання імерсивних технологій в архітектурі.

Виклад основного матеріалу

За останнє десятиліття BIM-технології активніше інтегрувалися в будівельні компанії та архітектурні бюро по всьому світу, ще у 2018 році у Національному звіті NBS про BIM зазначено, що 74% компаній «знають і використовують BIM» (збільшення на 62% порівняно з 2017 роком) [15]. У звіті про сталий розвиток 2024 року (Sustainable Futures Report 2024) зазначається, що «55% респондентів погоджуються, що BIM полегшує виконання процесів сталого розвитку та відповідні розрахунки» [16].

Визначення BIM-технологій широко варіюються, однак основна мета BIM-моделювання полягає у зв'язці будівельної інформації (метаданих), щодо архітектурного проєкту, безпосередньо з тривимірною CAD-моделлю. Якщо традиційна CAD-модель надає геометричні властивості та відповідні дані щодо об'єкту, необхідні для його виготовлення [17], то BIM-модель також включає комплексну, *негеометричну* інформацію, що може бути використана не тільки в процесі реалізації архітектурного проєкту, але і його подальшої підтримки протягом усього життєвого циклу. Ця інформація може включати витрати, матеріали, обладнання, графік будівництва, виробничу інформацію, проєктну документацію та будь-які інші дані, що мають відношення до проєктування, реалізації та обслуговування архітектурної споруди [18].

Національний стандарт інформаційного моделювання будівель визначає BIM як «вдосконалений процес планування, проєктування, будівництва, експлуатації та технічного обслуговування з використанням стандартизованої машино зчитуваної інформаційної моделі для кожного об'єкта, нового чи старого, яка містить всю відповідну інформацію, створену або зібрану про цей об'єкт у форматі, придатному для використання

протягом його життєвого циклу» [19].

Життєвий цикл архітектурного проєкту можна поділити на чотири основні етапи: планування, проєктування, будівництво та експлуатація. Етап планування передбачає збір необхідної інформації про споруду, визначення попередніх вимог та планування її геометричних характеристик. На етапі проєктування створюється віртуальна BIM-модель за допомогою BIM-платформи. Всі учасники процесу мають спільний доступ до BIM-даних, а зміни на будь-якому етапі життєвого циклу архітектурного проєкту відображаються в режимі реального часу. Третій етап – фізичне будівництво архітектурної споруди з використанням BIM-моделі як орієнтиру для її зведення. Останній четвертий етап включає експлуатацію і обслуговування, що також забезпечується даними з інформаційної моделі будівлі.

Всеосяжність та комплексність даних, що надається BIM-моделлю, створює сприятливі умови для інтеграції з імерсивними технологіями, що відбувається у вигляді відповідних програмних засобів. В цілому програмні продукти на основі імерсивних технологій з підтримкою BIM-моделювання можна розділити на три групи. До першої групи відносяться програмні засоби із задіянням технології доповненої реальності (AR). AR-технології зосереджені на поєднанні реального та віртуального світу шляхом накладання віртуального контенту на фізичний світ. До другої групи відносяться програмні засоби із задіянням технології віртуальної реальності (VR). VR-технології фокусуються на заміні реального світу оцифрованим віртуальним світом. До третьої групи відносяться програмні засоби із задіянням технології змішаної реальності (MR). MR-технології поєднують можливості доповненої та віртуальної реальності, ще більше стираючи грань між цифровим та реальним світом.

Для першої групи притаманне програмне забезпечення, що накладає та транслює віртуальні архітектурні об'єкти у фізичне середовище через смартфони і планшети, тобто за допомогою компактного обладнання, що і обумовлює операційну систему цих програм – Android/iOS:

– «homeAR» є програмним додатком мобільної доповненої реальності (Mobile augmented reality, MAR) з підтримкою BIM-технологій, що дозволяє користувачам візуалізувати архітектурну споруду у відповідному масштабі або в натуральну величину на основі BIM-моделі [20].

– «GAMMA AR» – це програмний мобільний додаток для візуалізації на основі MAR. Процесу рендеринга передують необхідність калібрування, тобто вирівнювання BIM-моделі архітектурної споруди у фізичному середовищі.

Ця програма підтримує багато функцій, включаючи зміну видимості елементів, перегляд властивостей об'єктів, їх кольорове кодування, а також текстові або голосові нотатки.

– «Trimble SiteVision» є портативним інструментом візуалізації BIM-моделей у фізичному середовищі, розробленим компанією «Trimble», що працює в галузі розробок систем визначення місця розташування за сигналами супутникових систем глобальної навігації. Отже цей програмний продукт використовує глобальну навігаційну супутникову систему (Global Navigation Satellite System, GNSS), щоб випробувати BIM-модель на реальному будівельному майданчику [21].

Друга група комп'ютерного інструментарію на основі імерсивних технологій передбачає вдосконалення всіх етапів проєктного процесу задіянням віртуального середовища, отже ці програми здебільшого виступають додатками до професійного програмного забезпечення архітекторів: VR-технології фокусуються на заміні реального світу оцифрованим віртуальним світом.

– «Enscape» позиціонується як плагін для проєктування в реальному часі, що переважно заточений під створення реалістичних архітектурних проєктів та забезпечення віртуальних прогулянок по ним. Цей плагін інтегрується в середовище таких професійних програм, як Revit, SketchUp, Rhinoceros, Archicad та Vectorworks, що свідчить про підтримку плагіном технології інформаційного моделювання будівель [22].

– «BIMXplorer» працює як плагін до Autodesk Revit, а також як окрема програма, що може імпортувати файли із великими і складними інформаційними моделями будівель, виконуючи функцію переглядача в режимі реального часу у віртуальному середовищі у звичайному настільному режимі (через монітор комп'ютера) або за допомогою віртуальних окулярів для повноцінного занурення користувача у цифрове середовище.

– «Revizto» є спільною BIM-VR-платформою, що забезпечує багатокористувацьку підтримку для сприяння комунікації та співпраці зацікавлених сторін у віртуальному BIM-середовищі з ефектом занурення. Системна платформа складається з набору інструментів взаємодії, доступ до яких можна отримати за допомогою 3D графічного інтерфейсу користувача. На відміну від попередніх програм, ця платформа підтримує більшу кількість програм з підтримкою CAD- та BIM-технологій: Revit, SketchUp, Rhinoceros, Archicad, Vectorworks, Navisworks, AutoCAD, Tekla, Inventor та інші.

– «Fuzor» – це програмне забезпечення для VDC (Virtual design construction), що спирається на аспекти, описані в попередніх версіях BIM-VR, такі як спільна робота, покрокове моделювання та BIM-

взаємодія. Однак ця програма також містить функції 4D BIM-симуляції, анімації об'єктів, архітектурного проєктування безпосередньо у віртуальному середовищі і складного BIM-рендерингу; підтримується продуктами компанії Autodesk: Revit, Autodesk BIM 360, Autodesk Civil 3D, Navisworks.

– «OpenSpace» – програмний додаток, орієнтований на 3D-сканування будь-яких компонентів архітектурних об'єктів фізичного середовища з послідовним створенням точних 3D-копій у віртуальному світі та можливості організації віртуальних турів. Інтеграція з галузевими інструментами, включаючи Autodesk BIM 360, свідчить про підтримку технології інформаційного моделювання будівель.

– «Cupix» також позиціонується як інструмент створення віртуальних турів у 3D та на основі 360° відео. Його відмінність від інших додатків полягає у використанні 360-градусних камер споживчого класу для зйомки матеріалу, що буде перетворений на цифрове середовище з можливістю його дослідження та взаємодії з різними компонентами при інтеграції в професійні програми Autodesk.

Третя група програмного забезпечення, заснована на технології змішаної реальності, малочислена, проте вже на сьогоднішній день існують програмні продукти, що поєднують можливості доповненої та віртуальної реальності:

– «BIM Holoview» представлено як програмний додаток, призначений для підтримки візуалізації віртуальних BIM на основі доповненої реальності на фізичному місці. Апаратне забезпечення, що використовується для цього, складається з окулярів змішаної реальності Microsoft Hololens, що використовують мікропроектори для накладання цифрового контенту на фізичний світ. Програму оснащено системою відстеження на основі маркерів для досягнення точного калібрування між віртуальним та фізичним середовищами [23]. В частині віртуальної реальності здебільшого задіяно візуалізаційний потенціал програми, що включає можливості кольорового кодування будівельних елементів, візуалізацію закритих об'єктів через фізичні структури, а також режим віртуальної прогулянки. Підтримується програмною платформою компанії Autodesk в частині Revit та Navisworks.

– «Trimble Connect» як програмний продукт також орієнтований на використання у змішаній реальності та оснащений опціями для візуалізації моделей BIM та CAD.

Також слід зазначити, що останнім часом більш активним є поширення терміну «Розширена реальність» (Extended reality, XR).

Розширена реальність здебільшого стосується використання технологій для створення імерсивного цифрового досвіду і охоплює всі різні форми комп'ютерно-зміненої реальності, включаючи VR, AR і MR [24].

На сьогоднішній день технологія розширеної реальності (XR) використовується як узагальнюючий термін для позначення всіх реальних і віртуальних комбінованих середовищ і взаємодії людини з машиною, створених за допомогою комп'ютерних технологій [25; 26]. В частині програмних продуктів забезпечення проектною роботи з урахуванням розширеної реальності може зводитися к поєднанню різних платформ та додатків, що сьогодні орієнтовані на VR, AR та MR-технології.

Висновки

У науковій статті наведені та розглянуті існуючі програмні продукти на основі імерсивних технологій з підтримкою BIM-моделювання в додатку до архітектурної діяльності. Їх систематизація дозволила виокремити три групи програмного забезпечення, що використовуються на різних етапах проектною діяльності архітектора.

Кожна з виокремлених груп заснована на тій чи іншій імерсивній технології: доповненої (AR), віртуальної (VR) або змішаної реальності (MR). Основною відмінністю між цими технологіями є рівень занурення у віртуальне середовище: AR накладає комп'ютерний контент на реальний світ; VR-контент є 100% цифровим; MR – це цифрове накладання, що дозволяє віртуальним 3D-елементам взаємодіяти з реальним середовищем. Також в професійному середовищі ще однією імерсивною технологією позначається розширена реальність (XR), але наразі вона має більше теоретичне значення, як узагальнюючого терміну для позначення всіх реальних і віртуальних комбінованих середовищ в результаті людської взаємодії з машиною, і не містить окремих прикладів програмного забезпечення.

В будь-якій позначеній в статті групі містяться різні програмні продукти: для першої групи здебільшого характерні мобільні додатки, оскільки доповнення фізичного світу цифровим контентом відбувається саме через екрани смартфонів, планшетів та іншого компактного обладнання; до другої групи відносяться різноманітні плагіни, що інтегруються в професійний інструментарій та удосконалюють його в частині візуалізації у віртуальному середовищі та можливості його дослідження; третя група із підтримкою змішаної реальності менш численна за кількістю програм, проте саме вона є найперспективнішою для майбутнього розвитку архітектурної професії,

оскільки передбачає комплексний підхід до архітектурної діяльності шляхом розширення професійного інструментарію проєктанта.

Однією з ключових особливостей змішаної реальності (MR), що становиться можливою при поєднанні AR- та VR-технологій, є вільне пересування та дослідження розробленого архітектурного проєкту у 3D-просторі з імітацією його користування та взаємодії, що в реальності з'явиться лише після завершення будівництва. Цей інтерактивний досвід занурення у віртуальну реальність викликає відчуття, максимально наближені до тих, які виникають при реальному перебуванні у фізичній структурі.

Становлення на постійну основу програмного забезпечення з підтримкою можливостей технології змішаної реальності дозволить приймати рішення щодо планування, проєктування та реалізації архітектурної споруди з більшою впевненістю та мінімізацією ризиків. Покращення взаєморозуміння, комунікації та співпраці між учасниками процесу сприятиме швидшому вирішенню проблемних ситуацій і, зрештою, досягненню кращого результату проєкту.

Отримані результати можуть бути використані для переосмислення алгоритмів архітектурного проєктування на сучасному етапі в контексті використання програмного забезпечення з підтримкою імерсивних технологій.

Подальші дослідження планується направити на детальний розгляд проектною складової, виконаної програмами на основі імерсивних технологій.

Література

1. Natephra, W., Motamedi, A., Fukuda, T., & Yabuki, N. (2017). Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design. *Visualization in Engineering*, 5(1), 1-21.
2. Park, C.-S., Lee, D.-Y., Kwon, O.-S., & Wang, X. (2013). A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Automation in construction*, 33, 61-71.
3. Pascu, N.-E., Dobrescu, T., Opran, C., & Enciu, G. (2014). Realistic scenes in CAD application. *Procedia Engineering*, 69, 304-309.
4. Cerovsek, T. (2011). A review and outlook for a Building Information Model (BIM): A multi-standpoint framework for technological development. *Advanced engineering informatics*, 25(2), 224-244.
5. Вергунова Н.С. Інструментарій штучного інтелекту в архітектурі [Текст] / Н.С. Вергунова // *Комунальне господарство міст. Серія: архітектура*. - 2024. - №4(185). - С. 69-74.
6. Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., & Riva, G. (2018). The past, present, and future of virtual and augmented reality research: a network and cluster analysis of the literature. *Frontiers in psychology*, 9, 2086.

7. Ahmed, S. (2019). A review on using opportunities of augmented reality and virtual reality in construction project management. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 11, 1839-1852.
8. May, K. W., Walsh, J., Smith, R. T., Gu, N., & Thomas, B. H. (2023). Examining VR Technologies for Immersive Lighting Performance Simulation and Visualisation in Building Design and Analysis. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 1, 913-914.
9. Tonn, C., Petzold, F., Bimber, O., Grundhofer, A., & Donath, D. (2008). Spatial augmented reality for architecture-designing and planning with and within existing buildings. *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 41-58.
10. Chalhoub, J. & Ayer, S. K. (2018). Using Mixed Reality for electrical construction design communication. *Automation in Construction*, 86, 1-10.
11. Akin, S., Ergun, O., Surer, E., & Dino, I. G. (2018). An immersive design environment for performance-based architectural design: A BIM-based approach. *Proceedings of the 4th EAI international conference on smart objects and technologies for social good*, 1, 306-307.
12. Kreutzberg, A. (2015). Conveying architectural form and space with virtual Reality. *Real Time-Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, Vol. 1, 117-124.
13. Hermund, A., Klint, L., & Bundgard, T. S. (2018). BIM with VR for architectural simulations: Building Information Models in Virtual Reality as an architectural and urban design tool. *ACE 2018 Singapore*, 3, 378-385.
14. Buchanan, E., Loporcaro, G., & Lukosch, S. (2022). On the Effectiveness of Conveying BIM Metadata in VR Design Reviews for Healthcare Architecture. *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 1, 806-807.
15. *The National BIM Report 2018* [Електронний ресурс] // Official website «NBS: Connected Construction Information». — Режим доступу : <https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018>
16. *Sustainable Futures UK Report 2024* [Електронний ресурс] // Official website «NBS: Connected Construction Information». — Режим доступу : <https://www.thenbs.com/sustainable-futures-uk-report-2024>
17. Vergunova, N., & Vergunov, S. (2022). Optimization of Design Process Based on 3D-Model. *Smart Technologies in Urban Engineering*, Vol 536, 45-56.
18. May, K. (2023). Integrating immersive technologies with building information modelling (BIM) for improved productivity of building performance [Doctoral thesis, University of South Australia]. Research Gate. 10.13140/RG.2.2.35935.47523.
19. *National Building Information Modeling Standard* [Електронний ресурс] // Official website «National Institute of Building Sciences». — Режим доступу : https://buildinginformationmanagement.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/06/nbimsv1_p1.pdf
20. *Next-generation Visualisation for New Homes* [Електронний ресурс] // Official website «home AR». — Режим доступу : <https://www.homear.io/>
21. *Trimble SiteVision* [Електронний ресурс] // Official website «Trimble». — Режим доступу : <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-sitevision>
22. *Industry-leading real-time visualization* [Електронний ресурс] // Official website «Enscape». — Режим доступу : <https://enscape3d.com/>
23. *3D Visualization of design models* [Електронний ресурс] // Official website «BIM Holoview». — Режим доступу : <http://www.bimholoview.com/>
24. Alwindawi, A. (2024). Digital Transformation in Construction: The Integration of BIM and XR Technologies in the AEC industry [Електронний ресурс] // Official website «Research Gate». — Режим доступу : https://www.researchgate.net/publication/380971635_Digital_Transformation_in_Construction_The_Integration_of_BIM_and_XR_Technologies_in_the_AEC_industry
25. Khan, A., Sepasgozar, S., Liu, T., & Yu, R. (2021). Integration of BIM and immersive technologies for AEC: A scientometric-SWOT analysis and critical content review. *Buildings*, 11(3), 126.
26. Sepehr Alizadehsalehi, A.H., & Huang, J.C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, 116, 103254.

References

1. Natephra, W., Motamedi, A., Fukuda, T., & Yabuki, N. (2017). Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design. *Visualization in Engineering*, 5(1), 1-21.
2. Park, C.-S., Lee, D.-Y., Kwon, O.-S., & Wang, X. (2013). A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Automation in construction*, 33, 61-71.
3. Pascu, N.-E., Dobrescu, T., Opran, C., & Enciu, G. (2014). Realistic scenes in CAD application. *Procedia Engineering*, 69, 304-309.
4. Cerovsek, T. (2011). A review and outlook for a Building Information Model (BIM): A multi-standpoint framework for technological development. *Advanced engineering informatics*, 25(2), 224-244.
5. Vergunova, N. S. (2024). Artificial intelligence tools in architecture. *Municipal economy of cities*, 4(185), 69-74.
6. Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., & Riva, G. (2018). The past, present, and future of virtual and augmented reality research: a network and cluster analysis of the literature. *Frontiers in psychology*, 9, 2086.
7. Ahmed, S. (2019). A review on using opportunities of augmented reality and virtual reality in construction project management. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 11, 1839-1852.
8. May, K. W., Walsh, J., Smith, R. T., Gu, N., & Thomas, B. H. (2023). Examining VR Technologies for Immersive Lighting Performance Simulation and Visualisation in Building Design and Analysis. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 1, 913-914.
9. Tonn, C., Petzold, F., Bimber, O., Grundhofer, A., & Donath, D. (2008). Spatial augmented reality for architecture-designing and planning with and within existing buildings. *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 41-58.
10. Chalhoub, J. & Ayer, S. K. (2018). Using Mixed Reality for electrical construction design communication. *Automation in Construction*, 86, 1-10.
11. Akin, S., Ergun, O., Surer, E., & Dino, I. G. (2018). An immersive design environment for performance-based

architectural design: A BIM-based approach. *Proceedings of the 4th EAI international conference on smart objects and technologies for social good*, 1, 306-307.

12. Kreutzberg, A. (2015). Conveying architectural form and space with virtual Reality. *Real Time-Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, Vol. 1, 117-124.

13. Hermund, A., Klint, L., & Bundgard, T. S. (2018). BIM with VR for architectural simulations: Building Information Models in Virtual Reality as an architectural and urban design tool. *ACE 2018 Singapore*, 3, 378-385.

14. Buchanan, E., Loporcaro, G., & Lukosch, S. (2022). On the Effectiveness of Conveying BIM Metadata in VR Design Reviews for Healthcare Architecture. *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 1, 806-807.

15. The National BIM Report 2018. Official website «NBS: Connected Construction Information». Retrieved from <https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018>

16. Sustainable Futures UK Report 2024. Official website «NBS: Connected Construction Information». Retrieved from <https://www.thenbs.com/sustainable-futures-uk-report-2024>

17. Vergunova, N., & Vergunov, S. (2022). Optimization of Design Process Based on 3D-Model. *Smart Technologies in Urban Engineering*, Vol 536, 45-56.

18. May, K. (2023). Integrating immersive technologies with building information modelling (BIM) for improved productivity of building performance [Doctoral thesis, University of South Australia]. Research Gate. 10.13140/RG.2.2.35935.47523.

19. National Building Information Modeling Standard. Official website «National Institute of Building Sciences». Retrieved from https://buildinginformationmanagement.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/06/nbimsv1_p1.pdf

20. Next-generation Visualisation for New Homes. Official website «home AR». Retrieved from <https://www.homear.io/>

21. Trimble SiteVision. Official website «Trimble». Retrieved from <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-sitevision>

22. Industry-leading real-time visualization. Official website «Enscape». Retrieved from <https://enscape3d.com/>

23. 3D Visualization of design models. Official website «BIM Holoview». Retrieved from <http://www.bimholoview.com/>

24. Alwindawi, A. (2024). Digital Transformation in Construction: The Integration of BIM and XR Technologies in the AEC industry. Official website «Research Gate». Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380971635_Digital_Transformation_in_Construction_The_Integration_of_BIM_and_XR_Technologies_in_the_AEC_industry

25. Khan, A., Sepasgozar, S., Liu, T., & Yu, R. (2021). Integration of BIM and immersive technologies for AEC: A scientometric-SWOT analysis and critical content review. *Buildings*, 11(3), 126.

26. Sepehr Alizadehsalehi, A.H., & Huang, J.C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, 116, 103254.

Рецензент: д-р архіт, проф., Марія Блінова, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна

Автор: ВЕРГУНОВА Наталія Сергіївна кандидат мистецтвознавства, доцент, завідувач кафедри дизайну та 3D-моделювання, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова.

E-mail – natalia.vergunova@kname.edu.ua

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8470-7956>

IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURE.

Vergunova N.

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Immersive technologies offer an alternative means of presenting and communicating data derived from BIM modeling. Augmented, virtual, and mixed reality technologies allow architects to visualize and interact with digital data, providing a simulation of their physical presence in an architectural structure, and thus a more realistic and interactive approach to various stages of project activities. In fact, immersive technologies can be used throughout the entire life cycle of an architectural project: planning, design, construction, and operation.

The aim of research is to identify and systematize data on computer tools using immersive technologies and the prospects for its development in architectural activities.

The scientific paper describes three groups of software products based on immersive technologies with BIM modeling support. Each of the groups is based on a particular immersive technology: augmented reality (AR), virtual reality (VR), or mixed reality (MR). The main difference between these technologies is the level of immersion in the virtual environment: AR overlays computer-generated content on the real world; VR content is 100% digital; MR is a digital overlay that allows virtual 3D elements to interact with the real environment.

Each group contains different software products: the first group is mostly characterized by mobile applications, since the physical world is supplemented with digital content through the screens of smartphones, tablets, and other compact equipment; the second group includes various plug-ins that integrate into professional tools and improve them in terms of visualization in a virtual environment and the possibility of its research; The third group with mixed reality support is smaller in number of programs, but it is the most promising for the future development of the architectural profession, as it provides an integrated approach to architectural activity by expanding the professional tools.

Keywords: immersive technologies, software, augmented reality), virtual reality, mixed reality, BIM modeling, architecture.