

УДК 72; 721; 74

DOI <https://doi.org/10.32782/uad.2025.3.11>**Нос Альона Ігорівна,**

аспірант, асистент кафедри архітектури будівель і споруд

Навчально-наукового інституту архітектури,

дизайну і образотворчого мистецтва

Харківського національного університету

міського господарства імені О.М. Бекетова

ORCID ID: 0009-0002-4153-6322

alona.nos@kname.edu.ua

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ СВІТЛОВИХ СЦЕН ПІД ЧАС СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ В АРХІТЕКТУРНОМУ ПРОЄКТУВАННІ ТА НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

У статті глибоко аналізується інтегральна роль формування світлових сцен у сучасному 3D-моделюванні архітектурних об'єктів та просторів, що є ключовим як для професійної діяльності, так і для освітнього процесу майбутніх архітекторів. Дослідження виходить за межі суто технічних аспектів, занурюючись у багатогранний емоційно-художній та психологічний вплив світла й тіні на зорове сприйняття архітектурного простору. Розглядається динамічна взаємодія світлових сценаріїв з різноманітними матеріалами та навколишнім середовищем, що формує реалістичне й занурююче візуальне враження.

Особлива увага приділяється детальному аналізу типології світлових сцен, розділяючи їх на екстер'єрні, інтер'єрні та специфічні для медіаархітектури, що вимагає унікальних підходів до освітлення. В статті також обговорюються технологічні аспекти реалізації цих сценаріїв, акцентуючи на можливостях сучасних програмних комплексів, зокрема Corona Renderer, який завдяки фізично коректному рендерингу та гнучким інструментам дозволяє досягати фотореалістичних результатів та ефективно керувати візуальним сприйняттям.

Обґрунтовується, що майстерне використання світла в 3D-візуалізації є не просто технічним завданням, а потужним комунікаційним інструментом. Це дозволяє архітектору не тільки презентувати функціональні та конструктивні особливості проєкту, але й передати його глибинну ідею, створити бажаний емоційний та функціональний наратив, що сприяє цілісному та переконливому сприйняттю об'єкта. Підкреслюється значення системного вивчення світлових сцен у навчальних програмах для формування комплексних навичок фахівців, здатних створювати естетично досконалі та емоційно насичені архітектурні простори.

Ключові слова: 3D-моделювання, архітектурне проєктування, дизайн, світлові сцени, візуалізація, архітектурна презентація, емоційно-художній контекст, зорове сприйняття, освітлення, BIM, Corona Renderer.

Nos Aliona. METHODOLOGY OF LIGHT SCENE FORMATION DURING 3D MODELING IN ARCHITECTURAL DESIGN AND THE EDUCATIONAL PROCESS

The article deeply analyzes the integral role of light scene formation in modern 3D modeling of architectural objects and spaces, which is crucial for both professional activity and the educational process of future architects. The research extends beyond purely technical aspects, delving into the multifaceted emotional-artistic and psychological influence of light and shadow on the visual perception of architectural space. It examines the dynamic of light scenarios with various materials and the surrounding environment, which forms a realistic and immersive visual impression.

Particular attention is paid to a detailed analysis of light scene typology, classifying them into exterior, interior, and those specific to media architecture, each requiring unique lighting approaches. The article also discusses the technological aspects of implementing these scenarios, emphasizing the capabilities of modern software complexes, particularly Corona Renderer, which, thanks to physically correct rendering and flexible tools, allows for achieving photorealistic results and effectively managing visual perception.

It is substantiated that the masterful use of light in 3D visualization is not merely a technical task, but a powerful communication tool. This enables the architect not only to present the functional and structural features of a project but also to convey its profound idea, create a desired emotional and functional narrative that contributes to a holistic and convincing perception of the object. The importance of systematic study of light scenes in educational programs is emphasized for forming comprehensive skills in specialists capable of creating aesthetically perfect and emotionally rich architectural spaces.

Key words: 3D modeling, architectural design, design, light scenes, visualization, architectural presentation, emotional-artistic context, visual perception, lighting, BIM, Corona Renderer.

Вступ. Сучасна архітектурна діяльність є багатограним і технологічно складним процесом, що вимагає постійного впровадження інноваційних підходів на всіх етапах – від концептуального проєктування до презентації та подальшої реалізації об'єкта. У цьому контексті 3D-моделювання виступає як незамінний інструмент, що трансформує традиційні методи роботи, формуючи єдиний інформаційний простір для архітекторів, конструкторів, інженерів, дизайнерів та інших учасників проєктної команди [1]. Такий інтегрований підхід забезпечує цілісність, послідовність та ефективність усього життєвого циклу архітектурного об'єкта.

Актуальним технологічним вектором у цій сфері є технологія BIM (Building Information Modeling)[2], яка дозволяє створювати насичену інформацією модель будівлі, що об'єднує функціональні, конструктивні, інженерні та візуальні характеристики. Проте, на етапі презентації архітектурної ідеї кінцевому споживачу або інвестору, ключову роль відіграє не лише конструктивна достовірність, а й емоційно-художнє сприйняття проєкту. Саме тут на перший план виходить формування світлових сцен під час створення 3D-моделей. Це завдання виходить за рамки суто технічного налаштування, перетворюючись на мистецтво передачі настрою, підкреслення об'ємів, матеріалів та загальної концепції архітектурного задуму.

У статті зосереджено увагу на методиці формування світлових сцен як фундаментальної складової успішної презентації 3D-моделей у навчальному процесі архітектурних спеціальностей, а також у професійній практиці. Особлива увага приділяється просторово-світловим характеристикам архітектурного об'єкта, його гармонійній взаємодії з навколишнім середовищем, а також емоційно-художньому аспекту сприйняття, що визначає цілісне враження від візуалізованого простору.

А. Вивченість питання: 3D-моделювання, світлові сцени та візуалізація в дизайні та архітектурі у працях українських дослідників. Питання 3D-моделювання та візуалізації в архітектурному проєктуванні,

а також проблеми формування світлових сцен, активно досліджуються в українській науковій та освітній спільноті, відображаючи світові тенденції інтеграції цифрових технологій у архітектурну практику [3-5].

Загальні аспекти **інформаційних технологій в архітектурі** широко висвітлюються в працях, присвячених автоматизованому проєктуванню (САПР) та впровадженню BIM-технологій. Українські вчені та практики активно обговорюють переваги BIM для оптимізації проєктних процесів, підвищення якості документації та ефективності управління проєктами. Хоча ці дослідження часто фокусуються на структурних та функціональних аспектах BIM, вони створюють важливу методологічну базу для розуміння значення інформаційної моделі, частиною якої є й візуальні характеристики.

Щодо **3D-моделювання як інструменту візуалізації та презентації**, українські науковці та викладачі архітектурних закладів вивчають його потенціал у контексті навчального процесу та професійної діяльності [6-7]. Роботи присвячені не лише технічним аспектам використання програмних комплексів, а й їхньому впливу на розвиток просторового мислення, формування художнього бачення у студентів-архітекторів. Важливим є розуміння, що 3D-модель є не просто кресленням в об'ємі, а інструментом для імітації реального досвіду.

Питання **світла в архітектурі** традиційно розглядалося в контексті природного освітлення, інсоляції та інженерної світлотехніки. Проте, у зв'язку з розвитком 3D-візуалізації, з'явилися роботи, що звертають увагу на **художні та психологічні аспекти формування світлових сцен** [8]. Дослідники підкреслюють, що відтворення реалістичного освітлення є ключовим для достовірності візуалізації та передачі архітектурної атмосфери. Це включає аналіз взаємодії світла з матеріалами, відтворення тіней, рефлексів та інших оптичних ефектів, що впливають на візуальне сприйняття. Хоча термінологія «емоційно-художній контекст» або «візуальні коди» не завжди є домінуючою, суть досліджень часто полягає у виявленні цих нефізичних якостей світлових сцен.

Деякі українські вчені зосереджуються на **методиці викладання 3D-графіки** [9] в архітектурній освіті, включаючи розділи, присвячені налаштуванню освітлення та рендерингу. Це свідчить про усвідомлення важливості цих навичок для майбутніх архітекторів, які мають не лише проєктувати, а й ефективно презентувати свої ідеї. Розглядаються різні програмні засоби та підходи до візуалізації, включаючи їхні можливості щодо роботи зі світлом.

Таким чином, хоча прямі дослідження феноменології світлових сцен у 3D-моделюванні з акцентом на «візуальні коди» та «метафори» можуть бути представлені не так широко, як у світовій науці, українська наукова спільнота активно працює над інтеграцією цифрових технологій в архітектуру. Існують значні напрацювання щодо використання 3D-моделювання для візуалізації, що є передумовою для подальшого поглибленого вивчення емоційно-художнього впливу світлових сцен та їхньої ролі у формуванні архітектурного сприйняття. Подальші дослідження повинні поглибити аналіз психологічних, естетичних та інформаційних аспектів світла у віртуальному архітектурному просторі (рис. 1).



Рис. 1. Створення світлових сцен для візуалізації 3D-моделі: екстер'єр (а), інтер'єр (б)

Б. Емоційно-художній контекст у 3D-візуалізації архітектурних об'єктів та просторів. Світло і тінь у просторі архітектури – це не просто фізичні явища, а потужні інструменти художньої виразності та формування емоційного сприйняття [10]. У контексті 3D-візуалізації їх роль посилюється, оскільки саме вони дозволяють перетворити суху геометричну модель на живий, чуттєвий образ,

що викликає відгук у спостерігача. Світло є першоосновою візуального сприйняття: без нього не існує форми, об'єму, кольору. У віртуальному просторі світло створює ілюзію реальності, перетворюючи пікселі на відчуття об'єму та глибини.

Світло як інструмент формування настрою та атмосфери. Кожен архітектурний простір має свою унікальну атмосферу, яка значною мірою визначається освітленням. У 3D-візуалізації архітектор або візуалізатор може свідомо маніпулювати світлом для створення бажаного настрою:

– **Драматизм і таємничість:** Різкі контрасти між світлом і тінню, акцентне освітлення певних елементів можуть створити відчуття напруги, інтриги або благоговіння. Такий підхід часто використовується для візуалізації культових споруд або монументальних комплексів.

– **Затишок та інтимність:** М'яке, розсіяне світло, що імітує захід сонця або освітлення свічками, створює відчуття тепла, комфорту та інтимності. Це ідеально підходить для візуалізації житлових інтер'єрів або камерних громадських просторів.

– **Піднесеність та урочистість:** Яскраве, рівномірне освітлення, часто з використанням розсіяного денного світла, може підкреслити велич, відкритість та урочистість простору, що є характерним для візуалізації великих громадських будівель, таких як театри чи музеї.

Взаємодія світла з матеріалами та поверхнями. Реалістичність 3D-візуалізації значною мірою залежить від того, наскільки точно передана взаємодія світла з різними матеріалами. Кожен матеріал – будь то шліфований бетон, полірований мармур, матове дерево або глянцеве скло – по-різному відбиває, поглинає або пропускає світло, створюючи унікальні візуальні ефекти. Наприклад:

– **Віддзеркалення та відблиски:** Глянцеві поверхні створюють чіткі відблиски, що свідчать про їхню гладкість та чистоту, додаючи об'єму та «глянцю».

– **Розсіювання:** Матові поверхні розсіюють світло, роблячи його м'яким і рівномірним, що підкреслює їхню текстуру та природність.

– **Прозорість та заломлення:** Скляні та інші прозорі матеріали пропускають світло,

заломлюючи його, що створює складні світлові візерунки та ілюзію глибини. Це особливо важливо для візуалізації фасадів сучасних будівель зі скла та металу.

– **Текстура та рельєф:** Гра світла й тіні на нерівних поверхнях (наприклад, цегляній кладці, рельєфних панелях) виявляє їхню текстуру, надаючи простору тактильної якості, яка, хоч і віртуально, впливає на зорове сприйняття.

Майстерне відтворення цих взаємодій дозволяє візуалізатору створити відчуття матеріальності, «правдивості» простору, що значно посилює емоційний вплив моделі на глядача. Це перетворює візуалізацію з простого зображення на інструмент сенсорного занурення.

В. Основи формування світлових сцен у 3D-моделюванні: інструменти та принципи (рис. 2). Формування світлових сцен у 3D-моделюванні – це складний процес, що вимагає розуміння як фізичних принципів поширення світла, так і художніх аспектів його застосування. Сучасні програмні комплекси для 3D-моделювання та візуалізації пропонують широкий спектр інструментів для імітації світла, кожен з яких має свої особливості та призначення.

Джерела світла:

– **Природне світло (Daylight System):** Імітує сонячне світло та освітлення від неба. Це найважливіше джерело для екстер'єрних візуалізацій та для створення реалістичного денного освітлення в інтер'єрах. Сучасні системи враховують географічне положення, час доби, пору року, що дозволяє точно відтворити позицію сонця та інтенсивність розсіяного світла. Важливою складовою є HDRi (High Dynamic Range Image) карти, які дозволяють передавати не тільки колір неба, а й інтенсивність світла від різних його ділянок, включаючи сонце, створюючи надзвичайно реалістичне фонове освітлення та відображення.

– **Штучні джерела світла:** Включають широкий спектр типів, що імітують реальні освітлювальні прилади:

– **Omni/Point Light (Точкове світло):** Випромінює світло у всіх напрямках з однієї точки, подібне до голої лампочки.

– **Spot Light (Прожектор):** Випромінює світло у конусі, дозволяючи сфокусувати його на певній ділянці, створюючи спрямовані акценти.

– **Area Light/Plane Light (Площинне світло):** Імітує світло від великих джерел, таких як вікна, стельові панелі або студійні софтбокси, забезпечуючи м'яке, розсіяне освітлення.

– **IES Lights (Фотометричне світло):** Використовує реальні дані від виробників освітлювальних приладів, дозволяючи точно відтворити розподіл світла та його інтенсивність від конкретної лампи чи світильника. Це забезпечує максимальну достовірність візуалізації професійних світлових рішень.

– **Mesh Light:** Дозволяє будь-якому геометричному об'єкту у сцені випромінювати світло, що ідеально для моделювання світильників з нестандартною формою або світлових елементів, інтегрованих у архітектуру.

Налаштування рендерингу для світлових сцен: Сучасні рендеринг-рушії, такі як V-Ray, Corona Renderer, Octane Render, Redshift, використовують передові алгоритми для обчислення поширення світла у сцені.

– **Глобальне освітлення (Global Illumination – GI):** Імітує непряме освітлення, тобто світло, яке відбивається від поверхонь і освітлює інші об'єкти. Це критично важливо для реалістичного освітлення інтер'єрів та складних екстер'єрів. Алгоритми, такі як Path Tracing, Photon Mapping, Irradiance Map, Light Cache, дозволяють досягти фотореалістичних результатів.

– **Матеріали:** Налаштування матеріалів (дифузія, відображення, глянцевість, прозорість, рефракція, SSS – Subsurface Scattering) мають безпосередній вплив на те, як світло взаємодіє з об'єктом. Правильно налаштовані матеріали дозволяють світлу поводитися максимально реалістично, що є запорукою достовірності візуалізації.

– **Камери:** Налаштування параметрів віртуальної камери (експозиція, баланс білого, ISO, діафрагма) також критично важливі. Вони імітують роботу реальної фотокамери, дозволяючи контролювати яскравість, глибину різкості та загальний вигляд фінального зображення.

Corona Renderer як інструмент формування світлових сцен: Corona Renderer є одним з провідних рендерів, що вирізняється простотою у використанні та високою якістю результатів, що робить його популярним у архітектурній візуалізації, особливо в навчальному процесі (рис. 2). Його особливості, що сприяють формуванню реалістичних світлових сцен:

- **Фізично коректний рендеринг (Physically Based Rendering – PBR):** Corona точно імітує поширення світла у реальному світі, що дозволяє досягти фотореалізму без складних налаштувань.

- **Просте налаштування GI:** Рушій автоматично обчислює глобальне освітлення, вимагаючи мінімальних втручань від користувача.

- **Гнучкі джерела світла:** Підтримка всіх основних типів джерел світла, включно з Sun, Sky, Environment (HDRI), Mesh Light та Corona Light (з можливістю використання IES профілів), дозволяє моделювати будь-які сценарії освітлення.

- **Інтерактивний рендеринг (Interactive Render):** Дозволяє в режимі реального часу бачити зміни освітлення при налаштуванні параметрів, значно прискорюючи робочий процес.

- **Об'ємний туман та промені (Volumetric Fog/Light):** Можливість додавати об'ємний туман або промені світла, що пробиваються крізь атмосферу, додає глибини та драматизму сцені, підвищуючи емоційну складову.

- **Corona Sky та HDRI:** Дозволяють легко моделювати природне світло, взаємодію з матеріалами, відображення, прозорість, поглинання тощо. Також у Corona реалізовано можливість створення «LightMix» – інтерактивної світлової карти для точного моделювання освітлення у складних сценах після рендерингу, що дає неперевершену гнучкість у роботі.

Г. Типологія світлових сцен: інтер'єри, екстер'єри та специфіка архітектурних об'єктів. Формування світлових сцен вимагає індивідуального підходу залежно від типу візуалізованого об'єкта та цілей презентації (рис. 3). Розрізняють кілька основних типологій світлових сцен:

Г.1. Екстер'єрні світлові сцени: Створення екстер'єрних візуалізацій спрямоване на

представлення архітектурного об'єкта у його природному чи міському оточенні (рис. 1). Ключові аспекти:

- **Природне освітлення:** Головним джерелом світла є сонце та небо. Необхідно точно налаштувати географічне положення, час доби та пору року для достовірності тіней та загального освітлення. Наприклад, ранкове світло м'яке і довгі тіні, що створюють відчуття спокою, тоді як полуденне – різке, з короткими тінями, що підкреслює об'ємність.

- **Оточення:** Врахування погодних умов (сонячно, хмарно, дощ), наявність природного світла та прилеглої забудови (сусідні будівлі можуть створювати тіні або відображення).

- **Взаємодія з ландшафтом:** Освітлення має гармоніювати з навколишнім ландшафтом, підкреслюючи його особливості (рослинність, водойми).

- **Виділення архітектурних акцентів:** За допомогою акцентного освітлення (наприклад, прожекторів) можна виділити окремі деталі фасаду або входні групи у вечірній час.

- **Динаміка часу доби:** Об'єкт варто представити в різних умовах освітлення (ранок, полудень, вечір, ніч), що дозволяє оцінити, як світло взаємодіє з архітектурою протягом доби, змінюючи її візуальний образ та емоційне сприйняття. Це особливо важливо для демонстрації енергоефективності або естетичної трансформації фасаду (рис. 1).

Г.2. Інтер'єрні світлові сцени: Візуалізація інтер'єрів вимагає особливої уваги до деталей та створення затишної, функціональної атмосфери (рис. 1).

- **Комбінація природного та штучного світла:** Інтер'єри рідко освітлюються лише одним типом світла. Важливо гармонійно поєднувати світло з вікон (якщо вони є) зі штучними джерелами (люстри, вбудовані світильники, підсвічування).

- **Функціональне освітлення:** Світло має відповідати функції приміщення (яскраве для робочих зон, м'яке для зон відпочинку).

- **Акцентне та декоративне освітлення:** Використання спрямованих джерел для підсвічування картин, скульптур, декоративних елементів, що створює візуальні акценти та додає глибини простору.

– **Врахування матеріалів та їхніх властивостей:** Матеріали стін, підлоги, меблів по-різному відбивають світло, і це має бути враховано для створення реалістичного вигляду.



Рис. 2. Моделювання візуалізацій з використанням 3ds Max із візуалізатором Corona Renderer (а) та програми Lumion (б): Дипломна робота на тему: «Інноваційні прийоми використання світла у формуванні сучасних терміналів». Магістрант Бутрід Гхізлан. Керівники: канд. арх., доц., доцент к-ри АБіС Криворучко Н. І., магістр архіт., аспірант, асистент к-ри АБіС Нос А. І.



Рис. 3. Моделювання виставкової споруди: Дипломна робота на тему: «Світло-просторова специфіка архітектурного формування культурно-виставкових комплексів». Магістрант Косяченко Я. Ю. Керівники: канд. арх., доц., доцент к-ри АБіС Криворучко Н. І., магістр архіт., аспірант, асистент к-ри АБіС Нос А. І.

Г.3. Специфіка архітектурних об'єктів та їх типологія: Типологія будівлі безпосередньо впливає на вимоги до освітлення та характер світлових сцен:

– **Виставкові павільйони та музеї:** Вимагають рівномірного, контрольованого освітлення, що не створює відблисків на експонатах, з можливістю акцентного підсвічування.

– **Спортивні споруди:** Потребують яскравого, функціонального освітлення, що забезпечує комфорт для спортсменів і глядачів, мінімізуючи тіні та відблиски.



Рис. 4. Моделювання музейного комплексу: Дипломна робота на тему: «Семантика світла у формуванні сучасних музейних комплексів». Магістрант Зрікі Анас. Керівники: канд. арх., доц., доцент к-ри АБіС Криворучко Н. І., магістр архіт., аспірант, асистент к-ри АБіС Нос А. І.

– **Вокзали та аеропорти:** Великі, відкриті простори з потребою у чіткій навігації та відчутті безпеки, що досягається за рахунок яскравого, функціонального освітлення.

– **Сакральні об'єкти (церкви, мечеті):** Світло тут є ключовим для створення містичної, піднесеної атмосфери. Часто використовується природне світло, що проникає через високі вікна, а також свічки або спеціальні світильники для створення драматичних тіней та акцентів, що посилюють емоційне та символічне значення простору.

– **Медіаархітектура:** Окремої уваги заслуговує медіаархітектура, де світло є не лише функціональним, а й комунікативним, динамічним елементом. Інтерактивні фасади, світлодіодні панелі, динамічні світлові сцени, що змінюються залежно від подій або інформаційного контенту, вимагають окремого підходу до проектування, візуалізації та симуляції їхньої поведінки. Тут світло стає «шкірою» будівлі, яка постійно змінюється, передаючи інформацію або створюючи мистецькі перформанси.

Крім типології, важливо враховувати **рух користувача та ключові точки зору**. Світлові акценти мають спрямовувати погляд, виділяти маршрути переміщення та композиційні

домінанти, формуючи наратив сприйняття простору.

Висновки. Формування світлових сцен у процесі створення 3D-моделей є надзвичайно важливою складовою як архітектурної освіти, так і професійної діяльності. Це завдання виходить за рамки простого технічного налаштування, перетворюючись на мистецтво, що вимагає глибокого розуміння фізичних принципів світла, його емоційно-художнього впливу та психології зорового сприйняття.

Майстерне використання світла в 3D-візуалізації дозволяє:

- **Передати архітектурну ідею** з максимальною достовірністю та емоційною силою.
- **Створити реалістичну атмосферу**, що відповідає призначенню та концепції об'єкта.
- **Ефективно презентувати проєкт** замовнику, інвестору або широкій аудиторії, викликаючи бажаний емоційний відгук.

– **Аналізувати функціональні та естетичні аспекти** освітлення ще на етапі проєктування.

Інтеграція передових рендеринг-технологій, таких як Corona Renderer, з глибоким розумінням принципів світлодизайну дає архітекторам і візуалізаторам потужний інструмент для перетворення віртуальних моделей на вражаючі та переконливі візуальні образи. Це підкреслює важливість системного вивчення світлових сцен у навчальних програмах архітектурних спеціальностей, що дозволить майбутнім фахівцям створювати не лише функціональні, а й естетично досконалі та емоційно насичені архітектурні простори. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку більш детальних методик та кейсів застосування світлових сцен для різних типологій об'єктів та конкретних комунікаційних завдань.

Література:

1. Що таке 3D-моделювання в галузі архітектури, інжинірингу та будівництва? URL: https://proscan.com.ua/blog/sho-take-3d-modelyuvannya-v-galuzi-arhitekturi-inzhiniringu-ta-budivnictva-new-article_1 (дата звернення: 24.06.2025).
2. Building information modeling – Вікіпедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling (дата звернення: 24.06.2025).
3. 3D Architectural Models – Adobe Substance 3D. URL: <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/3d-architectural-models.html> (дата звернення: 24.06.2025).
4. Можливості вивчення технологій 3D-моделювання архітектурних споруд в школі. *CyberLeninka*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mozhливosti-vivchennya-tehnologiy-3d-modelyuvannya-arhitekturnih-sporud-v-shkoli> (дата звернення: 24.06.2025).
5. Ratajczak M. Wpływ symulacji komputerowych 3D na jakość projektowania architektonicznego. *Architektura i Budownictwo*. 2019. № 3. С. 445–452. URL: <http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/256873b34d6dc59ce1ec94eb7e6bfb9a.pdf> (дата звернення: 24.06.2025).
6. Shulha I. Modern approaches to the use of 3D visualization in education. *Actual Trends of Modern Scientific Research*. 2021. С. 296–301. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/8671/1/ACTUAL-TRENDS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-14-16.03.21-1.pdf> (дата звернення: 24.06.2025).
7. Ковальчук М.В. Сутність та перспективи 3D-моделювання у проєктуванні архітектурного середовища. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/35464/1/Ковальчук%20М.pdf> (дата звернення: 24.06.2025).
8. Кліменко І.М. Візуалізація архітектурного образу за допомогою програмного забезпечення. *Сучасні технології в архітектурі та будівництві*. 2016. № 2. С. 110–114. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/suntz_2016_2_22.pdf (дата звернення: 24.06.2025).
9. Криворучко Н.І., Нос А.І. Семантика світла як інструмент формування архітектури новітньої епохи. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування* : наук.-техн. зб. / відп. ред. В.В. Товбич. К. : КНУБА, 2024. Вип. 69. С. 10–16.
10. Даниленко О.В. Психологічні аспекти візуалізації в архітектурному проєктуванні. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/28249/1/41.pdf> (дата звернення: 24.06.2025).

References:

1. ProScan. (n.d.). Shcho take 3D-modeliuvannia v haluzi arkhitektury, inzhynirynhu ta budivnytstva? [What is 3D modeling in the field of architecture, engineering and construction?]. Retrieved from: https://proscan.com.ua/blog/sho-take-3d-modelyuvannya-v-galuzi-arhitekturi-inzhiniringu-ta-budivnictva-new-article_1 [in Ukrainian].
2. Wikipedia. (n.d.). Building information modeling. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling
3. Adobe. (n.d.). 3D Architectural Models. Retrieved from: <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/3d-architectural-models.html>
4. CyberLeninka. (n.d.). Mozhlyvosti vyvchennia tekhnolohii 3D-modeliuvannia arkhitekturnykh sporud v shkoli [Opportunities for studying 3D modeling technologies of architectural structures at school]. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/mozhливosti-vivchennya-tehnologiy-3d-modelyuvannya-arhitekturnih-sporud-v-shkoli> [in Ukrainian].
5. Ratajczak, M. (2019). Wpływ symulacji komputerowych 3D na jakość projektowania architektonicznego [The impact of 3D computer simulations on the quality of architectural design]. *Architektura i Budownictwo*, 3, 445–452. Retrieved from: <http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/256873b34d6dc59ce1ec94eb7e6bfb9a.pdf> [in Polish].
6. Shulha, I. (2021). Modern approaches to the use of 3D visualization in education. *Actual Trends of Modern Scientific Research*, 296–301. Retrieved from: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/8671/1/ACTUAL-TRENDS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-14-16.03.21-1.pdf>
7. Kovalchuk, M.V. (n.d.). Sutnist ta perspektyvy 3D-modeliuvannia u proiektuvanni arkhitekturnoho seredovyscha [Essence and prospects of 3D modeling in architectural environment design]. Retrieved from: <http://eprints.zu.edu.ua/35464/1/Ковальчук%20M.pdf> [in Ukrainian].
8. Klimenko, I.M. (2016). Vizualizatsiia arkhitekturnoho obrazu za dopomohoiu prohrannoho zabezpechennia [Visualization of architectural image using software tools]. *Suchasni tekhnolohii v arkhitekturi ta budivnytstvi – Modern Technologies in Architecture and Construction*, 2, 110–114. Retrieved from: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/suntz_2016_2_22.pdf [in Ukrainian].
9. Kryvoruchko, N.I., & Nos, A.I. (2024). Semantyka svitla yak instrument formuvannia arkhitektury novitnoi epokhy [Semantics of light as a tool for shaping the architecture of the modern era]. *Modern Problems of Architecture and Urban Planning*, 69, 10–16. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture. [in Ukrainian].
10. Danylenko, O.V. (n.d.). Psykholohichni aspekty vizualizatsii v arkhitekturnomu proiektuvanni [Psychological aspects of visualization in architectural design]. Retrieved from: <http://eprints.zu.edu.ua/28249/1/41.pdf> [in Ukrainian].

Стаття надійшла: 26.06.2025

Прийнято: 08.07.2025

Опубліковано: 06.10.2025