



DOI <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-3-2>

УДК 742.3;742.5

ORCID ID: 0000-0002-0771-9769

ORCID ID: 0000-0003-4221-0332

ORCID ID: 0000-0003-1281-7766

Артем Бородай

*кандидат архітектури, доцент
Сумський національний аграрний університет
artem.borodai@snau.edu.ua*

Дмитро Бородай

*кандидат архітектури, доцент
Сумський національний аграрний університет
dmytro.borodai@snau.edu.ua*

Сергій Бородай

*старший викладач кафедри архітектури
Сумський національний аграрний університет
sergii.borodai@snau.edu.ua*

МЕТОДИКА СВІТЛОТІНЬОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОЦЕСІ АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Анотація. *Мета дослідження* – узагальнити основні закономірності та методи моделювання геометричної форми, які опановують студенти архітектурної спеціальності в процесі академічного навчання. **Методи дослідження.** У ході дослідження застосовано методи теоретичного аналізу фізичних закономірностей світлотіні, геометричного моделювання, графічного аналізу ізотоп та зон освітленості; використано математичне моделювання кривизни поверхонь, порівняльний аналіз ручних і цифрових методів візуалізації, а також практичне експериментування для перевірки ефективності світлотіньового моделювання в навчальному процесі. **Результати дослідження.** Запропоновано методику світлотіньового моделювання, яка дає змогу графічно виявити об'єм і особливості форми архітектурного об'єкта засобами ручної графіки на початкових стадіях архітектурного проєктування, а також трансформацію цієї методики у прийоми комп'ютерного моделювання. Такий підхід дає змогу фахівцям наочно демонструвати архітектурну ідею в процесі її генерації та розвитку, всебічно аналізувати її і запобігати виникненню негативних аспектів візуального сприйняття. Наведено приклади використання видатними майстрами світової архітектури графічних прийомів у практиці архітектурного проєктування. **Висновки.** У результаті цього дослідження можна зробити висновок про важливість комплексного інтегрованого застосування в архітектурному проєктуванні як методів і засобів традиційної ручної графіки на початкових етапах формування архітектурної ідеї, так і досягнень цифрових технологій – під час реалізації та вдосконалення цієї ідеї у процесі проєктування.

Ключові слова: світлотіньове моделювання, геометрична форма, тіло обертання, власна тінь, рефлекс, комп'ютерна графіка.

Artem Borodai

*PhD in Architecture, Associate Professor,
Sumy National Agrarian University
artem.borodai@snau.edu.ua*

Dmytro Borodai

*PhD in Architecture, Associate Professor,
Sumy National Agrarian University
dmytro.borodai@snau.edu.ua*

Serhii Borodai

*Senior Lecturer at the Department of Architecture
Sumy National Agrarian University
sergii.borodai@snau.edu.ua*

LIGHT AND SHADOW MODELING METHOD IN THE ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS

Abstract. *The purpose* of the study is to formulate the basic methods of modeling geometric shapes, which are mastered by students of the architectural specialty in the process of academic training. **Research methods.** The

study used methods of theoretical analysis of physical patterns of light and shadow, geometric modeling, graphical analysis of isophotes and illumination zones, mathematical modeling of surface curvature, comparative analysis of manual and digital visualization methods, as well as practical experimentation to verify the effectiveness of light and shadow modeling in the educational process. **Research results.** The technique that makes it possible to graphically identify the volume, features of the shape of an architectural object by means of manual graphics is considered. Such approaches help specialists to visually demonstrate an architectural idea in the process of its generation and development, comprehensively analyze and prevent the emergence of negative aspects of visual perception. Examples of the use of graphic techniques in the practice of architectural design by outstanding masters of world architecture are given. **Conclusions.** As a result of this study, it is possible to conclude about the importance of the integrated use of methods and tools in architectural design, both traditional manual graphics at the initial stages of the formation of an architectural idea, and the achievements of digital technologies in the implementation and improvement of this idea in the design process.

Key words: light-shadow modeling, geometric form, body of rotation, own shadow, reflex, computer graphics.

Постановка проблеми. Формування професійної, кваліфікованої особистості тісно пов'язане з вихованням у студента навичок і вмінь виявляти та демонструвати просторову геометричну структуру архітектурного об'єкта різними графічними засобами – від ручної графіки до прийомів комп'ютерного моделювання. Враховуючи специфіку сучасного архітектурного проектування, варто розуміти, що у навчанні фахівця-архітектора важливими є обидва аспекти графічної підготовки – володіння прийомами як ручної, так і комп'ютерної графіки.

Для перших стадій навчального архітектурного проектування – клаузура, ескіз-ідея, ескіз – необхідними якостями є вміння і навички студента-архітектора щодо володіння елементами ручної архітектурної графіки: побудова перспективи, пропорції, лінійна графіка, світло-тіньове моделювання. Це дає можливість автору виявити особливості об'ємно-просторового, планувального, містобудівного, колористичного та інженерного рішення.

Особливістю творчого процесу архітектурного проектування є те, що креативний потенціал автора, який є провідною й невід'ємною складовою цього процесу, не може бути замінений штучним інтелектом чи цифровими технологіями (принаймні в найближчому майбутньому). Адже авторська ідея людського інтелекту завжди супроводжується емоційним і чуттєвим аспектом, що є суто суб'єктивним та індивідуальним для кожного автора. У зв'язку з цим кожен автор реалізує власне бачення, творчий потенціал та естетичні уподобання в межах свого креативного світогляду, тобто виключно суб'єктивістської категорії.

Новизна дослідження полягає у систематизації та визначенні обґрунтованих взаємозв'язків між володінням техніками світлотіньового моделювання та здатністю студентів до просторового мислення й формотворення. Запропоновано удосконалену методику навчання світлотіньового

моделювання на основі кульового масштабу та методу дотичних конусів, що дає змогу підвищити точність відтворення об'ємно-просторових характеристик архітектурного об'єкта. Здійснено комплексний аналіз методичних підходів до навчання майбутніх архітекторів графічним засобам вираження архітектурної форми, що охоплює як традиційні методи ручної графіки, так і цифрові технології моделювання.

Метою статті є узагальнення основних закономірностей і методів геометричного формотворення, а також графічного вираження форми та об'єму. У цьому контексті важливим завданням є також процес графічної об'ємної подачі та світлотіньового моделювання, що допомагає архітектору просторово представити свою ідею, а споживачеві – краще й об'єктивніше її сприйняти. Тому під час підготовки фахівців архітектурної спеціальності значну увагу приділяють умінню майбутніх спеціалістів володіти засобами візуального формотворення, зокрема й світлотіньового моделювання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ця проблематика вивчалася упродовж століть багатьма поколіннями архітекторів, художників, науковців і філософів, а її актуальність залишається нагальною й на сучасному етапі розвитку архітектури. Відповідно, ці аспекти досліджуються у працях як теоретиків, так і практиків архітектурної думки – як у минулому часі, так і в сучасній практиці. Зокрема, в наукових працях і практичних роботах С. Суліменка та В. Анпілогова [2; 3] наведено теоретичні засади формоутворення фігур обертання другого порядку, а також графічної побудови перетину різних геометричних форм методами нарисної геометрії.

У роботі А. Радченка «Нарисна геометрія, інженерна графіка та теорія тіней» [4] викладено теоретичні основи формоутворення поверхонь геометричних тіл обертання та графічної побудови ліній перетину цих поверхонь з іншими – конічними та

циліндричними. Це забезпечує теоретичну базу для графічної демонстрації розподілу світлотіні на поверхні тіла обертання.

У наукових працях В. Ваніна [6], Т. Перевертун [7] представлено дослідження основ просторової тривимірної графіки, а також упровадження її елементів у комп'ютерне моделювання засобами графічних програмних ресурсів. З іншого боку, на противагу точним, науково вивіренним методам побудови геометричного об'єкта, наведено приклади формування архітектурної ідеї майстра-зодчого на основі внутрішнього відчуття форми й пропорції (Заха Хадід, Сантьяго Калатрава, Норман Фостер), яка, завдяки майстерному володінню ручною графікою, спочатку втілюється в ескіз-ідею, а згодом – у довершений архітектурний об'єкт.

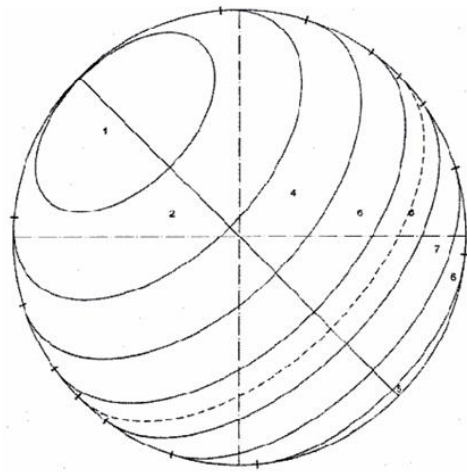
Отже, сучасна теоретична наука і прикладні дослідження досить ґрунтовно висвітлюють особливості формоутворення геометричних тіл обертання другого порядку, їх перетину у просторі з іншими геометричними тілами, проте недостатньо акцентують увагу на аспектах, пов'язаних із розподілом світлового потоку конічної та циліндричної форми на фігурах обертання, що є необхідним у процесі формування об'ємно-просторового чуття архітектора.

Виклад основного матеріалу. Для теоретичного обґрунтування світлотіньового моделювання використовують закони світлофізики: кут падіння світлового променя дорівнює куту відбивання від поверхні; яскравість освітленої поверхні залежить від кута падіння світлового променя на неї – максимальна яскравість освітленої поверхні при куті падіння 90° і близькому до цього значення. Яскравість освітленої поверхні зменшується залежно від кута падіння світлового променя (від 90° до 0°) в математичній закономірності.

Об'єктом вивчення правил розподілу світлотіні для студентів-архітекторів зазвичай обирають тіло обертання, оскільки саме в цьому випадку відповідні закономірності ілюструються найяскравіше. Графічно побудова розподілу світлотіні по фігурі обертання (наприклад, глиняній вазі, виготовленій гончарем на гончарному крузі) виконується з використанням так званого кульового масштабу.

Метод дотичних конусів, який використовується у процесі світлотіньового моделювання фігури обертання, полягає в тому, що світлові промені прямують від точкового джерела світла у вигляді світлових пучків конічної форми й на

правильній фігурі обертання (сфері) розподіляються зонами однакової освітленості по колу, яке на різних проекціях виглядає як еліпс (іл. 1).



Іл. 1. Кульовий масштаб (при куті падіння світла 45° ; 45° ; 45°). Цифрами позначені зони однакової освітленості. [Креслення автора]

Кульовий масштаб – це стандартний графік, який умовно демонструє розподіл світла і тіні на ідеальній фігурі обертання (правильній сфері) за стандартного розміщення джерела світла (зліва направо, зверху вниз, спереду назад під кутом 45°). Особливістю методу дотичних конусів є використання кульового масштабу як стандартного шаблону розподілу світлотіні по поверхні обертання у точках відповідної кривизни. Відповідність кривизни поверхонь обертання визначається кутом нахилу (тангенсом кута нахилу) дотичної в певній точці поверхні до горизонтальної осі (на фронтальній проекції).

На основі цієї закономірності і побудовано так званий кульовий масштаб, який дає змогу за допомогою горизонтальних січних площин, проведених у точках відповідної кривизни (на кульовому масштабі й фігурі обертання), визначити точки з однаковою освітленістю на поверхні даної фігури. З'єднавши ці точки плавною кривою лінією, яку називають *ізофототою*, можна отримати умовне графічне зображення розподілу світлотіні на поверхні тієї чи іншої фігури обертання.

Зони на поверхні фігури обертання, що утворюються між сусідніми ізофотами, умовно називають зонами однакової освітленості (хоча насправді рівень освітленості в них плавно змінюється). Побудувавши такі зони на поверхні фігури обертання за правилами нарисної геометрії, отримуємо світлотіньову модель фігури. Застосувавши тонування зон освітлення

відповідно до їхніх номерів на кульовому масштабі, можна створити схематичну об'ємно-просторову модель тіла обертання з візуалізацією його просторової форми.

Отже, математично точна методика побудови розподілу світлотіні на поверхні геометричного тіла дає змогу моделювати його просторовий об'єм на проєкційних і перспективних зображеннях. Ці геометричні закономірності та алгоритми застосовуються студентами перших курсів навчання на архітектурній спеціальності у процесі побудови геометричних об'єктів засобами ручної графіки, а також під час їх закладення в алгоритми розрахунків програмних продуктів комп'ютерної графіки: Autodesk 3ds Max, Cinema 4D, SketchUp, Revit тощо (іл. 2).

Здобуті знання необхідні студентам, які розпочинають навчання за спеціальністю «Архітектура та містобудування», навіть якщо надалі вони переважно використовуватимуть інформаційні технології в архітектурному проєктуванні.

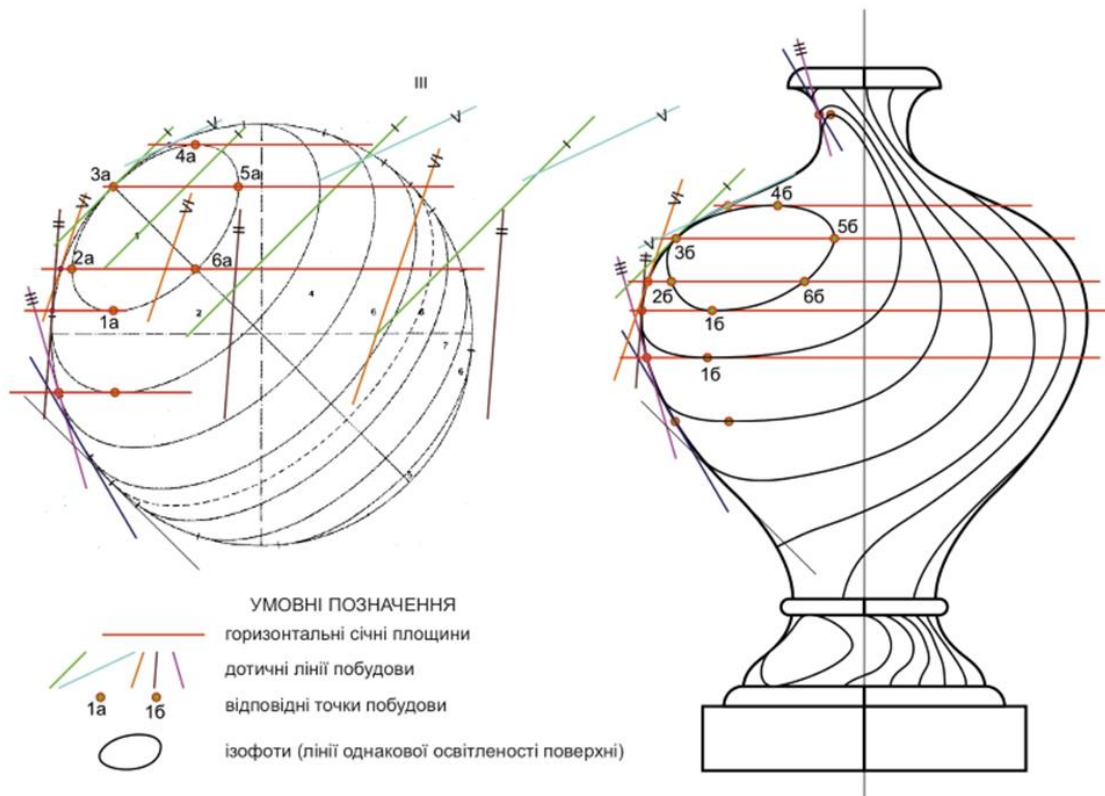
Однак варто зазначити, що в процесі навчального архітектурного проєктування студентам необхідні знання, які стосуються побудови архітектурного об'єкта – від зародження архітектурної ідеї, до її трансформації в архітектурний

проєкт і в досконалу форму, необхідну для створення містобудівного простору.

Перші кроки у становленні творчої особистості архітектора пов'язані з набуттям молодим фахівцем базових навичок архітектурного моделювання в ручному режимі. Це вимагає опанування знань та навичок, необхідних для формування візуального уявлення об'єкта в просторі. Розвиток таких здібностей залежить як від природних даних особистості, так і від можливостей подальшого творчого вдосконалення.

Відчуття форми та об'єму геометричного тіла, вміння змодельовати та візуалізувати їх у плоскому зображенні є необхідною складовою підготовки фахівця-архітектора. Ця якість починає формуватися на початковому етапі навчального процесу, що передбачено навчальним планом із архітектурного проєктування. Тому здатність архітектора візуалізувати архітектурну форму засобами світлотіньового моделювання на площині є ключовим компонентом його фахової компетентності, яка формується на початкових етапах навчання.

Звичайно, виконання вручну побудови світлотіньової моделі фігури обертання методом дотичних конусів є досить непростим завданням, оскільки пов'язане з нанесенням великої кількості



Іл. 2. Побудова ізофот освітленості тіла обертання методом кульового масштабу. Червоні горизонтальні лінії – відповідні січні площини. Різнокольорові лінії – відповідні дотичні до контуру вази і кулі. [Креслення автора]

відповідних точок ізотоп, а також із неточністю ручної побудови. Проте знання закономірностей розподілу світлотіні на поверхні геометричного тіла, залежно від його форми, дає змогу виконати принципово правильну модель, побудувавши мінімальну кількість характерних точок ізотоп, які визначають їхню форму.

Це такі точки як максимум і мінімум (найвища та найнижча точка), найправіша точка (максимум справа), а також точки перетину ізотопи з зовнішнім контуром форми та вертикальною осью ліній. Водночас варто пам'ятати важливі геометричні закономірності, які пов'язують поверхні позитивної кривини (опуклі) на кульовому масштабі з відповідними поверхнями тіла обертання – точкам максимуму відповідають точки максимуму, а на поверхнях від'ємної кривизни (увігнутих) навпаки – точкам максимуму на опуклих поверхнях відповідають точки мінімуму на увігнутих поверхнях. Відповідність визначається положенням дотичних у тій чи іншій точці поверхні тіла обертання.

З математичної точки зору, *дотична* – це пряма лінія, яка визначає кут нахилу поверхні у даній точці до горизонтальної осі, або з точки зору диференційного обчислення – тангенс кута нахилу до горизонтальної осі і є похідною у даній точці від функції, яка описує дану геометричну криву. Інша математична властивість дотичної полягає в тому, що вона є перпендикулярною до радіуса, проведеного з центра кола в цю точку. Ці математичні закономірності є основою для цифрових інформаційних технологій щодо побудови світлотіньових моделей різних геометричних тіл. Однак знання таких особливостей необхідне й для ручної побудови світлотіньової моделі будь-якого геометричного тіла чи архітектурної форми. Вони допомагають архітектору згенерувати просторову модель як за допомогою засобів ручної графіки, так і методами комп'ютерного моделювання.

Враховуючи специфіку процесу архітектурного проектування на різних стадіях, можна стверджувати, що цей процес є комплексним і багатограним. Він реалізується з використанням тих засобів графічної візуалізації, які

є найефективнішими на кожному окремому етапі. Наприклад, важко уявити високу ефективність застосування комп'ютерних графічних технологій чи навіть штучного інтелекту на стадії формування архітектурної ідеї – тобто на етапі клаузури або ескіз-ідеї. У наш час якісна архітектурна ідея все ще не може генеруватися самостійно, незалежно від людського інтелекту, таланту зодчого, емоційної складової, а лише з використанням інформаційних технологій.

Навіть видатні майстри сучасної супермодерної архітектури (З. Хадід, С. Калатрава, Н. Фостер), маючи потужні проектні структури, що спроможні генерувати довершені електронні моделі, під час створення своїх знакових архітектурних творів (центр Гейдара Алієва в Баку, Сент-Мері Екс в Лондоні, Палац мистецтв королеви Софії у Валенсії та ін.) використовували різні засоби архітектурної графіки, зокрема й ручну архітектурну графіку, шукаючи образне об'ємно-планувальне рішення.

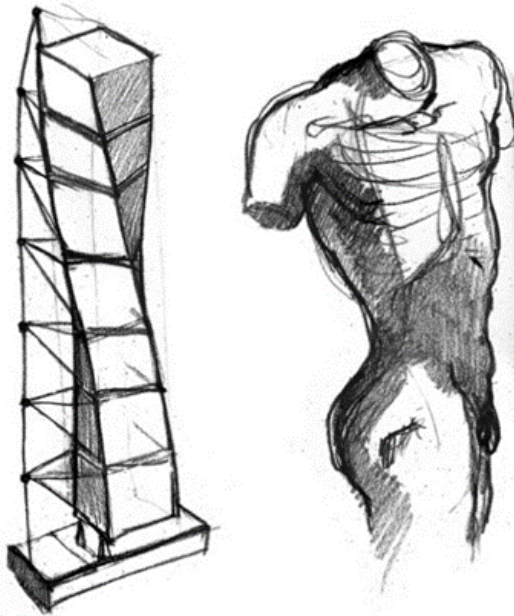
«Я не користуюсь комп'ютером. Мені достатньо ідеї та ескізів ручної подачі, які потім віддаю в роботу», – говорила Заха Хадід про свою творчу діяльність, результатом якої стали видатні архітектурні об'єкти. Сантьяго Калатрава, використовуючи власні дослідження під час роботи над скульптурою «Тіло, що закручується», надихнувся ідеєю створення архітектурного об'єкта Turning Torso, а ескізи та малюнки до скульптури стали прообразом «закрученого» хмарочоса у Мальме (іл. 4). Дещо інша історія з формуванням архітектурної ідеї Нормана Фостера щодо знаменитого 30 Сент-Мері Екс (The Gherkin) в Лондоні (іл. 5), яка зароджувалась у метра під час його прогулянок центральною частиною міста і формувалась у вигляді зарисовок і ескізів.

Отже, з урахуванням вищевикладеного, можна стверджувати, що для результативної творчої діяльності фахівця-архітектора необхідними залишаються такі якості, як просторове композиційне мислення, яке ґрунтується на здатності втілювати ідеї у формі демонстраційних матеріалів – як ручних ескізів, зарисовок, клаузур, так і архітектурних креслень та перспективних зображень,



Іл. 3. Розподіл ізотоп освітленості тіла обертання – валу. [Креслення автора]

Escultura ③ torso desnudo



Іл. 4. С. Калатрава. Ескіз до проєкту будівлі Turning Torso (Мальме, Швеція). [11]



Іл. 5. Н. Фостер. Ескіз-ідея до проєкту Сент-Мері Екс (The Gherkin) у Лондоні. [10]

виконаних із використанням програмних інформаційних ресурсів.

Головні висновки і перспективи використання результатів дослідження. Отже, загальну методику світлотіньового моделювання у процесі архітектурного проєктування можна звести до таких послідовних етапів:

- розуміння та застосування законів світлофізики (кут падіння світла визначає яскравість поверхні);
- застосування кульового масштабу (умовна схема розподілу світлотіні на фігурі обертання);
- застосування методу дотичних конусів (поділ поверхні тіла обертання на зони однакової освітленості);
- побудова ізофот (з'єднання точок однакової яскравості для створення моделі);
- візуалізація об'єму (нанесення градацій світлотіні для передачі форми в просторі);

– перевірка отриманого результату за допомогою програмних засобів комп'ютерної графіки.

Варто зазначити, що навчання студентів-архітекторів прийомам та навичкам світло-тіньового моделювання геометричних тіл є важливим етапом у процесі підготовки майбутніх фахівців. Увесь спектр засобів, якими володіє фахівець-архітектор, – від навичок ескізно-кляузурної ручної графіки до різноманітних об'ємно-просторових і візуально-демонстративних функцій та можливостей цифрових технологій є наразі необхідним й затребуваним в архітектурній галузі.

Водночас одним з найголовніших засобів вираження будь-якої архітектурної форми є світлотіньове моделювання. В професійній діяльності фахівця-архітектора поєднання ручної та комп'ютерної графіки в процесі архітектурного формоутворення і світло-тіньового моделювання є двома необхідними і нерозривними складовими, що інтегровані високорозвиненим людським інтелектом.

Список використаних джерел

1. Суліменко, С. Ю., Анпілогова, В. О., Левіна, Ж. Г. Формоутворення поверхонь обертання другого порядку за їх лініями обрисів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2016. №44. С. 320–325.
2. Суліменко С. Ю. Конструктивно-параметричний аналіз формоутворення еліпсоїдів за їх лініями обрисів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2016. №42. С. 109–115.
3. Радченко А. О. Нарисна геометрія, інженерна графіка та теорія тіней. Конспект лекцій. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова . Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова , 2023. 163 с.

4. Хмеленко О. С. Нарисна геометрія. Підручник. К.: Кондор, 2008 р. 440 с.
5. Ванін В. В., Грубич М. В., Юрчук В. П. Посібник з нарисної геометрії та інженерної графіки. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020 р. – 86 с.
6. Ванін В. В., Перевертун В. В., Надкернична Т. М. та ін. Інженерна та комп'ютерна графіка. К.: Вид. гр. BHV. 2009 р. – 402 с.
7. Михайленко В. Є. Євстіфєєв М. Ф., Ковальов С. М. та ін. Нарисна геометрія. Підручник. 2-е вид., переробл. – К.: Вища школа. 2004 р. – 305 с.
8. Ванін В.В., Перевертун Т.М., Надкернична Т.О. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD . Навч. посібник. К.: Каравела, 2006 р. 334 с.
9. Архітектор світу: Заха Хадід – геній деконструктивізму. URL: <https://davidovich.design/blog-post/zaha-hadid-genij-dekonstruktivizma/> (дата звернення: 30.01.2025)
10. Pinterest. URL: <https://tr.pinterest.com/saitgozu692/foster+-partners/> (дата звернення: 30.01.2025)
11. Thearchitect. URL: https://thearchitect.pro/ru/news/4361-TOP10Znakovye_proekty_Santjago_Kalatravy/ (дата звернення: 30.01.2025)

References

1. Sulimenko, S. Yu., Anpilohova, V. O., & Levina, Zh. H. (2016). Formoutvorennia poverkhon obertannia druhoho poriadku za yikh liniiamy obrysiv [Forming of surfaces of rotation of the second order according to their contour lines]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia – Modern problems of architecture and urban planning*, 44, 320–325 [in Ukrainian].
2. Sulimenko, S. Yu. (2016). Konstruktyvno-parametrychnyi analiz formoutvorennia elipsoidiv za yikh liniiamy obrysiv. [Structural and parametric analysis of the formation of ellipsoids according to their outline lines]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia – Modern problems of architecture and urban planning*, 42, 109–115 [in Ukrainian].
3. Radchenko, A. O. (2023). Narysna heometriia, inzhenerna hrafika ta teoriia tinei. Konspekt leksii. Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova . [Sketch geometry, engineering graphics and shadow theory. Synopsis of lectures]. [O. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv]. 163 p. [in Ukrainian].
4. Khmelenko, O.S. Narysna heometriia. Pidruchnyk (2008). [Graphic geometry. Textbook]. Kyiv. Kondor, 440 [in Ukrainian]. [in Ukrainian].
5. Vanin, V. V., Hrubych, M. V., & Yurchuk, V. P. (2020). Posibnyk z narysnoi heometrii ta inzhenernoi hrafiky [A guide to sketch geometry and engineering graphics]. Igor Sikorsky Kyiv, Polytechnic Institute, 86 p.
6. Vanin, V. V. Perevertun, T. M. Nadkernychna, T. O. ta in. (2009). Inzhenerna ta komp'iuterna hrafika [Engineering and computer graphics]. Kyiv, BHV, 336 p. [in Ukrainian].
7. Mykhailenko, V. Ye., Yevstyhnieiev, M. F., & Kovalov, S. M. (2013). Narysna heometriia: pidruchnyk. 3-tie vyd., pererobl. [Graphic geometry. Textbook. 2nd edition, revised]. Kyiv, Slovo. 304 p. [in Ukrainian].
8. Vanin, V. V., Perevertun, T. M., & Nadkernychna, T. O. (2006). Kompiuterna inzhenerna hrafika v seredovyshchi AutoCAD : Navch.posibnyk. [Computer engineering graphics in the AutoCAD environment. Training manual]. Kyiv, Karavela, 236 p. [in Ukrainian].
9. Arkhitektor svitu: Zakha Khadid – henii dekonstruktyvizmu [The architect of the world: Zaha Hadid - the genius of deconstructionism]. Retrieved from: <https://davidovich.design/blog-post/zaha-hadid-genij-dekonstruktivizma/> [in Ukrainian].
10. Pinterest. Retrieved from: <https://tr.pinterest.com/saitgozu692/foster+-partners/> [in English].
11. Thearchitect. Retrieved from: https://thearchitect.pro/ru/news/4361- TOP 10 Znakovye_proekty_Santjago_Kalatravy/ [in English].

Подано до редакції 26.02.2025