

УДК 514.18 DOI:
10.32347/0131-579x.2020.99.163-177

д. т. н., професор **Підгорний О.Л.**
pidgornyi.ol@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3104-4412

д. т. н., професор **Плоский В.О.**
ploskyivo@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2632-8085,

к. т. н., доцент **Кривенко О.В.**
knuba.o.v.k@gmail.com ORCID: 0000-0002-8949-0944

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИКЛАДАННЯ МЕТОДІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ СТУДЕНТАМ АРХІТЕКТОРАМ НА ПРИКЛАДІ СУЧАСНОЇ ВИСОТНОЇ АРХІТЕКТУРИ

У статті представлено теоретичні та методологічні основи викладання спеціального курсу для студентів – архітекторів із застосуванням геометричних способів формоутворення оболонки при проектуванні сучасних висотних будівель. Обґрунтовано актуальність застосування криволінійних форм у сучасній висотній архітектурі. Визначено напрями моделювання параметрів змін при формоутворенні поверхонь висотних будівель. Представлені способи геометричного моделювання та приклад їх застосування при проектуванні висотного комплексу.

Ключові слова: висотні будівлі; криволінійні поверхні; криві другого порядку, геометричне моделювання та формоутворення.

Постановка проблеми.

Сучасні напрями розвитку висотних будівель, а саме впровадження аеродинамічних, енергоефективних, біокліматичних будівель визначають широке застосування криволінійних поверхонь при їх проектуванні. Використання геометричних способів моделювання оболонки висотних будівель дає можливість свідомого вибору проектних якостей застосованих поверхонь, спрощують їх аналітичне, комп'ютерне моделювання.

На кафедрі архітектурних конструкцій КНУБА на протязі тривалого періоду часу викладався навчальний курс з проектування сучасних конструкцій при підготовці архітекторів із застосуванням методів геометричного моделювання. Накопичений досвід викладання та практичної роботи із студентами архітекторами показав необхідність та актуальність поширення знань щодо геометричного формоутворення поверхонь та їх застосування у проектній практиці.

Ціль статті. Сформулювати основні результати та напрями розвитку викладання методів геометричного формоутворення оболонки в

архітектурі на прикладі проектування сучасних висотних будівель для студентів архітекторів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Традиційні ортогональні системи вже не є домінуючими, навпаки, вільні, криволінійні форми переживають експансію в архітектурі та у міському дизайні. Відомі у світі проектні студії створюють власні програми оптимізації форми будівель для впровадження методів генеративного дизайну складних за геометрією поверхонь будівель [1]. Зазначені тенденції потребують внесення відповідного доповнення у навчальні програми з підготовки архітекторів. Наприклад, в [2] описаний досвід введення навчальної дисципліни «Геометрія поверхонь» в курс підготовки архітекторів на кафедрі архітектури, факультету інженерії та дизайну, Університету Хосей (FEDHU) у Токіо, Японія. Ціллю дисципліни є надання студентам знань стосовно утворення геометричних поверхонь, які можна застосувати для реалізації власних нестандартних архітектурних рішень.

У КНУБА, на кафедрі архітектурних конструкцій, професором Підгорним О.Л. з 1973 року започатковано викладання спеціального курсу для архітекторів із застосуванням геометричних способів формоутворення оболонок при проектуванні архітектурно – конструктивних рішень великопрогонових конструкцій. Цьому передувала енергійна діяльність завідувача кафедри будівельної механіки проф. Вайнберга Д.В. Він створив та очолив проблемну науково – дослідну лабораторію тонкостінних просторових конструкцій при КІБІ, обладнану обчислювальною технікою. За переконанням проф. Вайнберга Д.В., знання геометрії поверхонь та досвід їх використання необхідні саме студентам архітекторам. Тому він проводив факультативні заняття із студентами, слідував за роботами з геометрії поверхонь на кафедрі нарисної геометрії, якою керував проф. Колотов С.М. Проф. Вайнберг Д.В., на прохання керівництва Київпроекта допомогти в проектуванні поверхонь оболонок Київського крематорію, однозначно рекомендував кандидатуру Підгорного О.Л. Надалі він підтримав та був опонентом на захисті докторської дисертації проф. Підгорного О.Л. [3], основним змістом якої було геометричне моделювання множин ліній, яке відповідає умовам проектування і отримання виділенням з цих множин відповідних поверхонь.

У даний час теоретичною основою викладання спеціального курсу для архітекторів із застосуванням геометричних способів формоутворення оболонок при проектуванні архітектурно – конструктивних рішень стали наукові роботи, у яких розглядається проблематика геометричного моделювання поверхонь, а саме:

- у галузі прикладного геометричного моделювання, теорії параметризації геометричних фігур та використання геометричних методів у задачах формоутворення поверхонь дослідження

О.Л. Підгорного, В.С. Обухової, В.Є. Михайленка, В.О. Плоского, С.Н. Ковальова, С.І. Ботвіновської, С.М. Кривошапка, та інші [3–9];

- у галузі комп'ютерного моделювання геометричних моделей складних об'єктів дослідження К.О. Сазонова, В.М. Несвідоміна [10–11];
- технічної естетики та біонічного проектування архітектурних об'єктів дослідження: О.В. Кашенко, М.І. Яковлев [12–14].

З 2016 року в межах навчальної дисципліни «Сучасні конструкції будівель та споруд» викладання геометричного формоутворення оболонок доцентом Кривенко О.В. було доповнено новим напрямом – проектуванням оболонок висотних будівель при урахуванні енергоефективних та біокліматичних тенденцій сучасного розвитку [15, 16].

Основна частина.

1.1. Обґрунтування актуальності застосування криволінійних форм у сучасній висотній архітектурі.

В архітектурі 21 століття поширюється застосування форм криволінійних поверхонь. Особливо слід відзначити їх активне впровадження у висотну архітектуру. Розвиток пасивного низько енергетичного та біокліматичного дизайну у висотних будівлях вирішується при широкому застосуванні криволінійних оболонок. Такий напрям формоутворення пов'язаний із аеродинамічними властивостями будівель з криволінійних формою поверхонь, що здатні ефективно протидіяти вітровим навантаженням, які посилюються із висотою будівлі. Висока енергоефективність криволінійних поверхонь пов'язана з тим, що співвідношення площі зовнішньої поверхні до внутрішнього об'єму менше ніж у будівлях звичайної призматичної форми. Оболонки криволінійних поверхонь мають ефективні несучі характеристики конструкцій за рахунок просторового розподілу навантажень по поверхні конструкцій, що забезпечує зниження ваги висотної будівлі. Засобами пасивного енергоефективного дизайну можуть стати конструктивні елементи висотної будівлі криволінійної форми для сприйняття спектру впливів кліматичних параметрів змінних по висоті будівлі. Можливість формування красивих та пластичних форм поверхонь висотних будівель, надання їх контурам динаміки чи статичності, композиційним рішенням симетрії чи асиметрії, забезпеченню пропорційності та візуальної гармонії, відтворенню аналогів природних форм.

1.2. Моделювання параметрів змін при формоутворенні поверхні висотної будівлі.

Досвід архітектурного проектування висотних будівель розпочався з використання простих форм із застосуванням призм, конуса, циліндра на основі чого був накопичений значний досвід їх формоутворення. З часом погляди архітекторів звернулись до застосування більш складних криволінійних поверхонь та їх відсіків, що забезпечують сучасні вимоги до формоутворення висотних будівель. Розвиток сучасних будівельних

матеріалів, технологій зведення та розрахунку конструкцій дозволяє прогнозувати подальшу перспективу широкого застосування форм на основі криволінійних поверхонь у висотній архітектурі.

Процес формоутворення висотної будівлі для архітектора є складним, тому що потребує врахування впливів та дій значної кількості параметрів, взаємодії з суміжними спеціалістами при проектуванні будівлі.

Архітектор, створюючи поверхню висотної будівлі моделює:

- форму плану, зміну його конфігурації, розмірів по висоті будівлі;
- форму граничного контуру оболонки висотної будівлі при різних варіантах планів поверхів;
- форму видимого контуру для найбільш характерних точок зору візуального сприйняття висотної будівлі;
- взаємодію форми висотної будівлі чи її окремих елементів з різними кліматичними параметрами (напрямом вітру, сонячного опромінення, моделювання напрямів відбиття світла та звуку);
- економічну доцільність обраної форми поверхні висотної будівлі при забезпеченні несучої здатності її конструктивної системи та окремих конструктивних рішень.

Таким чином, є потреба у відповідних зручних способах моделювання при геометричному формоутворенні поверхонь висотної будівлі як на стадії ескізного проектування так і при подальшому уточненні, деталізації, конструюванні та розрахунку.

1.3. Способи геометричного моделювання.

Способи геометричного моделювання мають забезпечувати можливість для конструювання та зображення простих та складених оболонок з урахуванням наперед заданих умов геометричного та проектного характеру.

Нехай в якості прикладу обрано криві 2 – го порядку та поверхні 2 – го порядку. Тоді можна виділити дві групи задач при геометричному моделюванні оболонки висотної будівлі:

- перша група задач пов'язана з визначенням окреслень планів чи контурів будівлі та пов'язана із геометричною побудовою кривих другого порядку, для чого застосовується спосіб побудов по 5 наперед заданим параметрам кривої;
- друга група задач пов'язана із геометричним моделюванням форми висотної будівлі та із геометричною побудовою поверхонь другого порядку чи їх відсіків.

Розглянемо першу групу задач. У посібнику «Формоутворення оболонок в архітектурі» [4] обґрунтоване твердження: «У загальному випадку крива 2-го порядку задається п'ятьма точками, п'ятьма дотичними або поєднанням по п'ять точок і дотичних». Відповідно в [4] розглянуті конструктивні способи побудови дуг кривих 2-го порядку для опису контурів. Виділимо з них три способи, які реалізують метод засічок з двох точок на основі теореми з проективної геометрії: «Якщо між двома

пучками прямих з центрами O_1 і O_2 встановлено однозначну проєктивну відповідність, то відповідні прямі перетинаються в точках кривої 2-го порядку, що проходять через центри O_1 і O_2 » (рис. 1).

(Проєктивна відповідність, якщо прямим $d_1 = e_2$ відповідають різні прямі d_2 і e_1). Незалежними можна взяти тільки три пари прямих і отримати точки A , B і C . Для отримання інших пар відповідних прямих використовується відповідність точок на двох прямих m_1 і m_2 , встановлюване за допомогою пучка P (рис. 2).

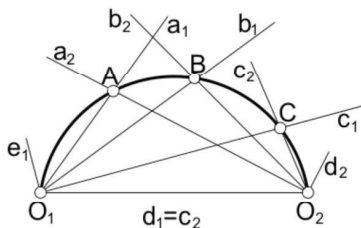


Рис. 1 Встановлення однозначної проєктивної відповідності між двома пучками прямих в центрах O_1 і O_2 для отримання точок A, B, C

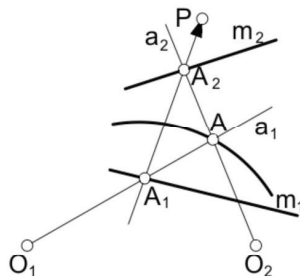


Рис. 2 Встановлення однозначної проєктивної відповідності точок на двох прямих m_1 і m_2 для отримання довільної точки A кривої m

Перший спосіб: побудова дуги контуру по п'яти точкам, на рис. 3 показано побудову однієї точки A на кривій першим способом – по п'яти точках. Пряма l пучка P дає відповідні точки A_1 і A_2 , через які проходять прямі a_{12} і a_{23} , які визначають в перетині точку A .

Другий спосіб: Побудова дуги контуру по трьом точкам і двом дотичним. Другий спосіб випливає з першого, якщо уявити, що при злитті точок O_1 і M_2 , O_2 і M_1 хорди O_1M_2 і O_2M_1 стають дотичними t_1 і t_2 (рис. 4). Алгоритм побудови довільної точки залишається тим же. Якщо дотична в точці M паралельна хорді O_1O_2 , то ставлення $f = h / H$ визначає вигляд кривої контуру: парабола при $f > 0,5$ гіпербола, еліпс при $f < 0,5$ (рис. 5).

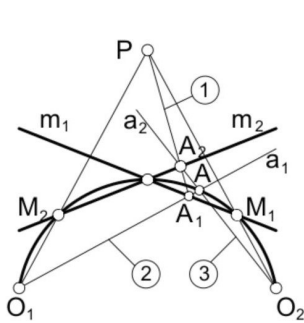


Рис. 3 Апарат побудови дуги контуру першим способом - по п'яти точках

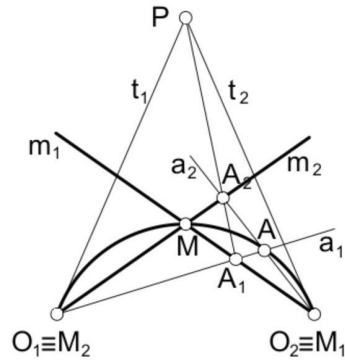


Рис. 4 Апарат побудови точок дуги контуру другим способом - по трьох точках та двох дотичних. Приклад побудови т.А на кривій

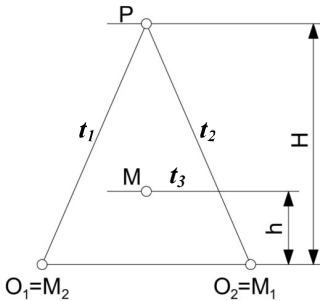


Рис. 6 Можливість визначення виду кривої 2-го порядку з урахуванням співвідношення: $f = h / N$

- $f = 0,5$ парабола
- $f > 0,5$ гіпербола
- $f < 0,5$ еліпс

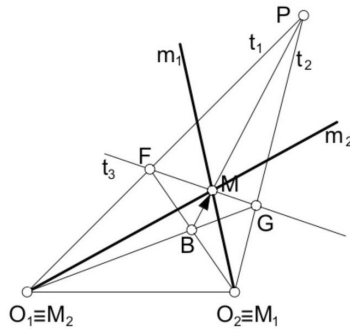


Рис. 5. Апарат побудови точки дотику М до дотичної на основі теореми Бріансона для чотирикутника. Забезпечує перехід до другого способу

Третій спосіб. Побудова дуги контуру по двох точках і трьох дотичних. Третя дотична t_3 обмежує поле кривої і може бути горизонтальною, вертикальною або довільною. Знаходження точки дотику М на t_3 дозволяє використовувати для побудов другий спосіб.

Відома теорема Бріансона для чотирикутника і його слідства. У чотирикутнику прямі, що з'єднують точки дотику протилежних сторін, перетинаються в одній точці В (точці Бріансона). Теорема дозволяє при відомих п'яти точках торкання отримувати шосту. Слідство для чотирикутника дозволяє отримати точку дотику М і t_3 . Точка В Бріансона є результатом перетину діагоналей O_1F і O_2F . Точка М – перетин PB і t_3 (рис. 6). Виходять прямі m_1 і m_2 для переходу до способу 2.

Поєднання 1-го і 2-го способів дозволяє виконати побудову по чотирьох точках і однієї дотичній. Точка Р виходить як результат перетину хорди O_1M_1 і дотичній t в точці $O_2 = M_1$. Пряма m_1 проходить через M і O_2 . Пряма m_2 є хордою MM_2 .

Розглянемо другу групу задач. В їх основі конструюванні оболонок висотних будівель з поверхонь другого порядку, що проходять через наперед задані перерізи. Формоутворення висотної будівлі на основі використання криволінійних поверхонь другого порядку чи їх відсіків дає можливість застосовувати весь їх спектр: еліпсоїд, сфера, двуполосний гіперboloїд, еліптичний параболоїд, конус другого порядку, еліптичний циліндр, гіперболічний циліндр, параболічний циліндр, гіперболічний параболоїд, однопорожнинний гіперboloїд. У роботі [4] детально розглядаються геометричні способи побудови та аналітичне визначення поверхонь другого порядку, описані їх якості. Однією з яких є те, що поверхні 2- го порядку перетинається площиною по кривій 2- го порядку, яка може розпадатись на 2 прямі (такі що перетинаються, паралельні чи та збіглись). Таким чином знаючи спосіб завдання поверхні та визначення кривих 2 го порядку, що утворились у результаті перерізів їх площиною, можемо визначати форму поверхні висотної будівлі. Визначення перерізів для різних криволінійних поверхонь представлено у таблиці 1.

1.4. *Навчальна програма з геометричного моделювання криволінійних поверхонь.*

Зрозуміло, що перш ніж проектувати висотні об'єкти криволінійної форми необхідно отримати знання про геометричні поверхні та їх використання в архітектурній практиці. Відповідно, студент архітектор повинен отримати попередні знання з геометрії форм поверхонь. Такі знання він отримує з теоретичного курсу лекцій та в ході виконання проектної курсової роботи. В ході навчання за дисципліною студенту пропонується виконати курсову роботу за наступними етапами моделювання:

1. Визначення основ варіантного геометричного моделювання на стадії ескізного пошуку форм. Опис контурів просторових конструкцій за ескізом дугами кривих 2-го порядку. Розгляд способів побудови дуг кривих 2-го порядку за 5 елементами (точки, дотичні, визначеними за ескізами).
2. Поверхні 2-го порядку і види їх перерізів, які можуть бути контурами відсіків. Опис поверхонь оболонок відсіками поверхонь 2-го порядку при заданих контурах.
3. Використання у формоутворенні оболонок лінійчатих та не лінійчатих поверхонь вище 2-го порядку.

На основі засвоєння матеріалу лекцій та напрацювань практичних занять студенти самостійно та під контролем викладача виконують

Таблиця 1.
Види перерізів поверхонь 2-го порядку площиною.

Поверхні			Види перерізів						Кількість видів	
			1	2	3	4	5	6		
ПОВЕРХНІ 2-ГО ПОРЯДКУ НЕЛІНІЙЧАТІ ЛІНІЙЧАТІ РОЗГОРТУВАНІ КОСІ	1	Сфера	○	—	—	—	—	—	1	
	2	Еліпсоїд	а) обертання	●	○	—	—	—	—	2
			б) тривісний	⊗	○	—	—	—	—	
	3	Двопорожнинний гіперboloїд	а) обертання	●	○	○	△	—	—	4
			б) загального вигляду	⊗	○	○	△	—	—	
	4	Параболоїд	а) обертання	●	○	—	▲	—	—	3
			б) еліптичний	⊗	○	—	▲	—	—	
	5	Циліндр	а) обертання	●	○	—	—	—		3
б) еліптичний			⊗	○	—	—	—		3	
в) гіперболічний			—	—	○	—	—		2	
г) параболічний			—	—	—	○	—		2	
6	Конуси	а) обертання	●	○	○	△	×	—	5	
		б) загального вигляду	⊗	○	○	△	×	—		
7	Однопорожнинний гіперboloїд	а) обертання	●	○	○	△	×		6	
		б) загального вигляду	⊗	○	○	△	×	○		
8	Гіпар		—	—	○	▲	×	—	3	

Окружності

- У площинах обертання поверхні
- ⊗ У двох пучках паралельних площин, що визначаються по теоремі Монжа
- Неособі перерізи по кривим

Параболи

- ▲ У площинах паралельних осі еліптичних і гіперболічних параболоїдів і проходять через неї
- △ У площинах, || дотичної площини до конусів (в т.ч. асимптотичних)

Перетини за прямими

- × Перетинні прямі
- || Паралельні
- Особливий випадок перетинів площинами, дотичними до асимптотичного конусу однопорожнинного гіперboloїда

ескізні варіантні рішення курсової роботи. «Формоутворення та виконання ескізного конструювання з використанням просторових конструкцій», що складається з трьох частин. Перша частина: виконання варіантного проектування форм просторових конструкцій на основі їх геометричного моделювання по опису контурів дугами кривих 2 – го порядку. Друга частина: розробка та оформлення варіантів просторових конструкцій по опису форми об'єктів відсіками геометричних поверхонь за обраним ескізом. Третя частина: конструювання заданого об'єкту з використанням раціонального варіанту конструктивних систем та конструктивних елементів, інтеграцію в проектне рішення енергоефективних технологій та напрямі біокліматичного дизайну. Конструкцій, включає в себе план, фасад, розріз, наглядне зображення, основні вузли просторових конструкцій.

На рис. 7-9 представлений приклад курсової роботи із спеціального курсу «Сучасні конструкції будівель та споруд». Завданням передбачалося розробити проектне рішення форми та конструкцій висотної будівлі із геометричною побудовою відсіків поверхонь другого порядку. У курсовій роботі при формоутворенні висотних будівель були використані поверхні параболічного циліндру та гіперболічного параболоїду. Відсіки параболічного циліндру склали основу оболонок двох висотних башт, аеродинамічна форма яких забезпечує зменшення вітрового тиску по висоті будівлі. Запроектований ухил даху утворюється перетином січної площини з поверхнею параболічного циліндру та передбачає розміщення сонячних батарей, що визначається при проектуванні для забезпечення найбільш ефективного нахилу до Сонця (рис. 7).

Центральна частина висотного комплексу передбачає композиційне завершення у вигляді куполу з відсіку гіперболічного параболоїду (рис. 8,9). Функціональне призначення – рекреаційна зона із озелененням. В основі геометричного моделювання – визначення окреслення купольної конструкції будівлі на основі геометричної побудови контурів кривих другого порядку способом по 5 наперед заданим параметрам кривої. У ході проектування для опису контурів просторової конструкції застосовано ескізи дуг кривих 2-го порядку, парабол – прямої та твірних, що рухаються вздовж прямої. Параболи – криві другого порядку визначались за допомогою побудови по 5 параметрам (точки, дотичні, визначені за ескізами). Визначені окреслення кривих другого порядку – визначають параметри арок - несучих конструкцій куполу (рис.9).

Висновки та перспективи.

Викладання спеціального курсу для архітекторів із застосуванням геометричних способів формоутворення оболонок при проектуванні сучасних архітектурно – конструктивних рішень має велике значення для студентів архітекторів. Як показав досвід викладання, застосування методів геометричного моделювання при розробці архітектурно -

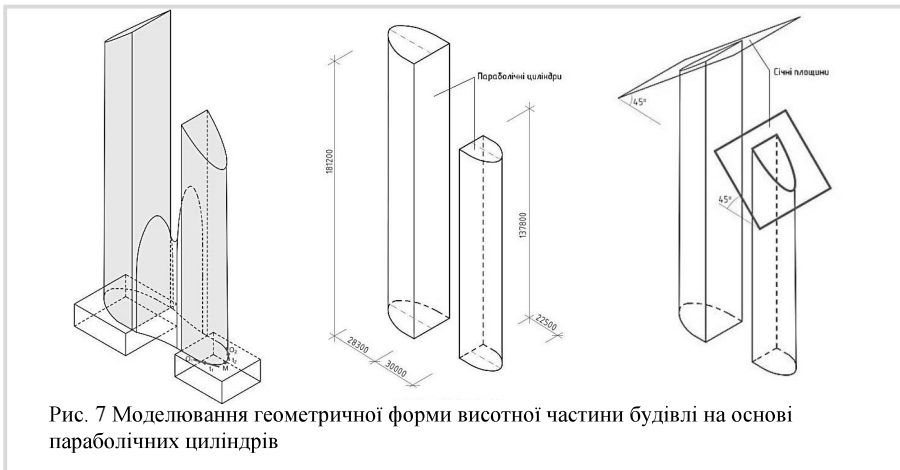


Рис. 7 Моделювання геометричної форми висотної частини будівлі на основі параболічних циліндрів

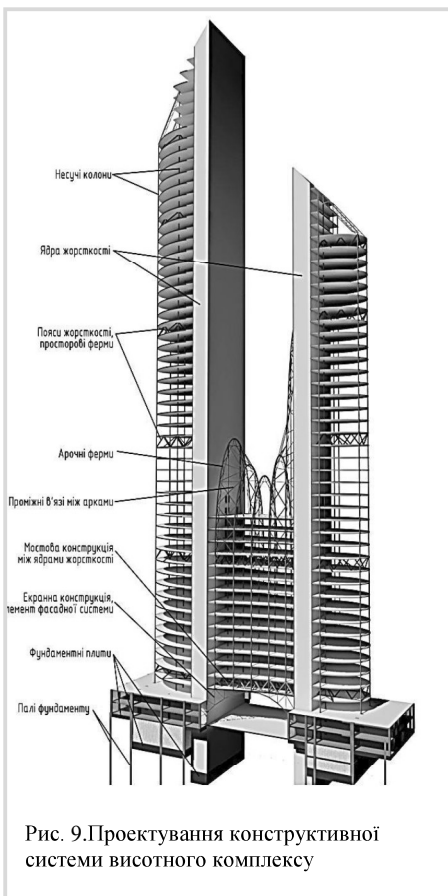


Рис. 9.Проектування конструктивної системи висотного комплексу

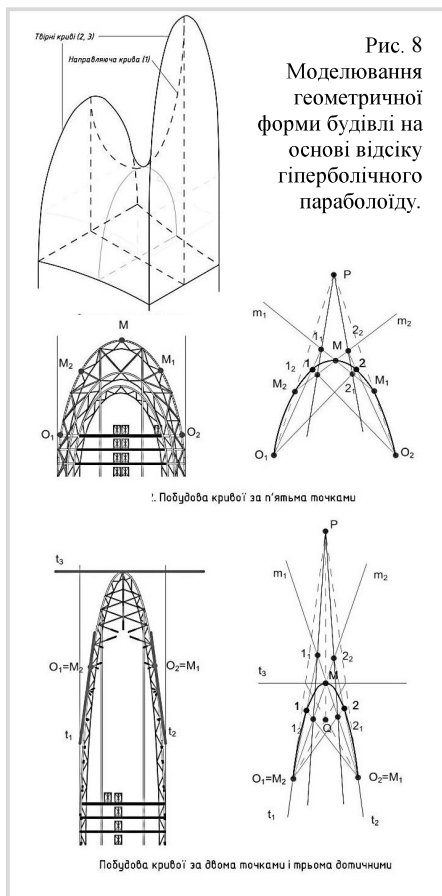


Рис. 8 Моделювання геометричної форми будівлі на основі відсіку гіперболічного параболоїду.

Побудова кривої за п'ятьма точками

Побудова кривої за двома точками і трьома дотичними

конструктивних рішень будівель розвиває у студентах нові навички та проектні можливості з архітектурного формоутворення. На протязі курсу студенти навчаються не тільки визначати геометричні поверхні та способи їх утворення, але також, застосовувати їх при проектуванні власних архітектурних рішень за допомогою способів геометричного моделювання.

Таким чином, проекти набувають оригінальності форм та обгрунтованості конструктивних рішень. Студенти задоволені результатами та знаннями, які вони отримують в ході навчання з курсу. А розвиток наукових досліджень з геометричного моделювання поверхонь надає широкі перспективи для модернізації дисципліни в майбутньому, а також для запровадження нових напрямів навчального проектування.

Література

1. *Petruševski Lj., Petrović M., Devetaković M., Ivanović J.* (2017): Modeling of Focal-Directorial Surfaces for Application in Architecture, FME Transactions, VOL. 45, No 2, pp. 294-300.
2. *Krasić S., Ando N., Pejić P., Tošić Z.* (2019): Teaching of Geometric Surfaces for Architectural Students at the Faculty of Engineering and Design, of Hosei University in Tokyo, Japan. FME Transactions 47, №2, pp.293-298. doi:10.5937/fmet1902293K.
3. *Подгорный А.Л.* Геометрическое моделирование пространственных конструкций: дис. ... доктора техн. наук: 05.01.01. Киев: КИСИ, 1975. 371 с.
4. *Михайленко В.Е., Обухова В.С., Подгорный А.Л.* Формообразование оболочек в архитектуре. Киев. «Будівельник», 1972, стр. 205.
5. *Подгорный А.Л.* Множества кривых второго порядка и конструирование из них поверхностей / *Прикл. геометрия и инж. графика.* Киев : КИСИ, 1969. Вып. 9. С. 38-52.
6. *Михайленко В.Е., Ковалев С.Н.* Конструирование форм современных архитектурных сооружений. Київ : Будівельник, 1978. 112 с.
7. *Плоский В.А.* Формообразование оболочек на основе реализации инвариантной конструктивной модели геометрических преобразований : автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : 05.01.01 «Прикладная геометрия, инженерная графика». Киев : КИСИ, 1986. 16 с.
8. *Ботвіновська С.І.* Моделювання криволінійних поверхонь об'єктів дизайну та управління їх формою. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування* : наук. технічний збірник. Київ : КНУБА, 2017. № 47. С. 451– 457.
9. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. Москва : Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. 556 с.
10. *Сазонов К. А.* Диалоговое графическое пространственное проектирование: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.12 / Московский инженерно-строительный институт. Москва, 1988. 38 с.

11. *Несвідомін В.М.* Комп'ютерні моделі синтетичної геометрії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка». Київ: КНКУБА, 2008. 41 с.
12. *Кащенко О.В.* Формоутворення в дизайні та архітектурі на основі моделювання біопрототипів: дис. д-ра техн. наук: 05.01.03. Київ, 2013. 328 с.
13. *Яковлев М. І.* Геометричні принципи художнього формоутворення :дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.03. Київ : КНУБА,1999. 352 с.
14. *Плоский В.О., Данієлян А.Є.* Геометричні принципи в формоутворенні об'єктів еко-архітектури / *Праці таврійського держ. агротехн. ун-ту*. Вип.4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь, 2011. Том 50. С. 18–22.
15. *Krivenko O., Mileikovskiy V., Tkachenko T.* The principles of energy efficient microclimate provision in the skyscraper «Biotecton» of 1 km height// *European Journal of Formal Sciences and Engineering*. Volume 1, Issue 3, 2018. pp. 8–17. URL: <http://dx.doi.org/10.26417/ejef.v2i3.p66-75>.
16. *Кривенко О.В.* Біокліматична архітектура як явище в екологічній архітектурі / *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ : КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 155-160.

References

1. *Petruševski Lj., Petrović M., Devetaković M., Ivanović J.* (2017): Modeling of Focal-Directorial Surfaces for Application in Architecture, FME Transactions, VOL. 45, No 2, pp. 294-300. {in English}.
2. *Krasić S., Ando N., Pejić P., Tošić Z.* (2019): Teaching of Geometric Surfaces for Architectural Students at the Faculty of Engineering and Design, of Hosei University in Tokyo, Japan. FME Transactions 47, №2, pp.293-298. doi:10.5937/fmet1902293K. {in English}.
3. *Podgornyy A.L.* Geometricheskoye modelirovaniye prostranstvennykh konstruksiy : dis. ... doktora tekhn. nauk : 05.01.01. Kiyev : KISI, 1975. 371 s. {in Russian}.
4. *Mikhaylenko V.Ye., Obukhova V.S., Podgornyy A.L.* Formoobrazovaniye obolochek v arkhitekture. Kiyev. «Budível'nik», 1972, str. 205. {in Russian}.
5. *Podgornyy A.L.* Mnozhestva krivykh vtorogo poryadka i konstruirovaniye iz nikh poverkhnostey // *Prikl. geometriya i inzh. grafika*. K., 1969. Vyp. 9. S. 38-52. {in Russian}.
6. *Mikhaylenko V.Ye., Kovalev S.N.* Konstruirovaniye form sovremennykh arkhitekturnykh sooruzheniy. Kíiv : Budível'nik, 1978. 112 s. {in Russian}.
7. *Ploskiy V.A.* Formoobrazovaniye obolochek na osnove realizatsii invariantnoy konstruktivnoy modeli geometricheskikh preobrazovaniy : avtoref. dis. na soiskaniye nauchnoy stepeni kand. tekhn. nauk : 05.01.01 «Prikladnaya geometriya, inzhenernaya grafika». Kiyev : KISI, 1986. 16 s. {in Russian}.

8. *Botvinovs'ka S.I.* Modelyuvannya kryvoliniynykh poverkhon' ob'yektiv dyzaynu ta upravlinnya yikh formoyu. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya : nauk. tekhnichnyy zbirnyk. Kyiv : KNUBA, 2017. № 47. P. 451–457 {in Ukrainian}.
9. *Krivoshapko S.N., Ivanov V.N.* Entsiklopediya analiticheskikh poverkhnostey. Moskva : Knizhnyy dom "LIBROKOM", 2010. 556 p. {in Russian}.
10. *Sazonov K.A.* Dialogovoye graficheskoye prostranstvennoye proyektirovaniye: avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk: 05.13.12 / Moskovskiy inzhenerno-stroitel'nyy institut. Moskva, 1988. 38 p. {in Russian}.
11. *Nesvidomin V.M.* Komp'yuterni modeli syntetychnoyi heometriyi : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya d-ra tekhn. nauk : spets. 05.01.01 «Prykladna heometriya, inzhenerna hrafika». Kyiv: KNKUBA, 2008. 41 p. {in Ukrainian}
12. *Kashchenko O.V.* Formoutvorennnya v dyzayni ta arkhitekturi na osnovi modelyuvannya bioprototypiv: dys. d-ra tekhn. nauk: 05.01.03. Kyiv, 2013. 328 p. {in Ukrainian}.
13. *Yakovlev M. I.* Heometrychni pryntsypy khudozhn'oho formoutvorennnya : dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.01.03. Kyiv : KNUBA, 1999. 352 p. {in Ukrainian}
14. *Plosky V.O., Daniyelyan A.YE.* Heometrychni pryntsypy v formoutvorenni ob'yektiv eko-arkhitektury // Pratsi taviyis'koho derzh. ahrotekhn. un-tu. Vyp.4. Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika. Melitopol', 2011. Tom 50. pp. 18–22. {in Ukrainian}.
15. *Krivenko O., Mileikovskiy V., Tkachenko T.* The principles of energy efficient microclimate provision in the skyscraper «Biotecton» of 1 km height// European Journal of Formal Sciences and Engineering volume 1, Issue 3, 2018, pp. 8–17. URL: <http://dx.doi.org/10.26417/ejef.v2i3.p66-75>.
16. *Kryvenko O.V.* Bioklimatychna arkhitektura yak yavysheche v ekolohichniy arkhitekturi / *Enerhoefektyvnist' v budivnytstvi ta arkhitekturi.* Kyiv : KNUBA, 2013. Vyp. 4. pp.155–160. {in Ukrainian}.

д. т. н., профессор **Підгорний О.Л.**
pidgornyi.ol@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3104-4412

д. т. н., профессор **Плоский В.А.**
ploskyivo@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2632-8085,

к. т. н., доцент **Кривенко О.В.**
knuba.o.v.k@gmail.com ORCID: 0000-0002-8949-0944

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

**ПРЕПОДАВАНИЕ МЕТОДОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

СТУДЕНТАМ АРХИТЕКТОРАМ НА ПРИМЕРЕ СОВРЕМЕННОЙ ВЫСОТНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

В статье представлены теоретические и методологические основы преподавания специального курса для студентов - архитекторов по применению геометрических способов формообразования оболочек при проектировании современных высотных зданий.

Проанализированы основные исследования и публикации, которые составляют теоретическую основу преподавания специального курса для архитекторов с применением геометрических способов формообразования оболочек при проектировании архитектурно – конструктивных решений зданий.

Обоснована актуальность применения криволинейных форм в современной высотной архитектуре, которая связана с развитием энергоэффективного и биоклиматического дизайна в высотных зданиях решаемого при широком использовании криволинейных поверхностей.

Определены направления для моделирования изменений при формообразовании поверхностей высотных зданий. Они определяют потребность в соответствующих удобных способах моделирования при геометрическом формообразовании поверхностей высотного здания, как на стадии эскизного проектирования, так и при дальнейшем уточнении, детализации, конструировании и расчете.

Рассмотрены способы формообразования, которые основываются на геометрическом моделировании множеств линий, для заданных условий проектирования и получения выделением из этих множеств соответствующих поверхностей. Представлен пример их применения при разработке архитектурно – конструктивного решения высотного комплекса. В ходе выполнения курсовой работы, было разработано проектное решение формы и конструкций высотного здания. Оно основывалось на геометрическом моделировании отсеков поверхностей второго порядка – поверхности параболического цилиндра и гиперболического параболоида. При формообразовании решались вопросы обеспечения требований энергоэффективной и экологической архитектуры.

Как показал опыт преподавания, применение методов геометрического моделирования при разработке архитектурно – конструктивных решений зданий, развивает в студентах новые навыки и проектные возможности архитектурного формообразования. А развитие научных исследований по геометрическому моделированию поверхностей, предоставляет широкие перспективы для модернизации дисциплины в будущем, а также для внедрения новых направлений учебного проектирования.

Ключевые слова: высотные здания; криволинейные поверхности; кривые второго порядка, геометрическое моделирование и формообразование.

Ph. D., prof. **Oleksiy Pidgorniy**

pidgorny.ol@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3104-4412

Ph. D., prof. **Vitaly Ploskyi**

ploskyivo@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2632-8085,

Ph. D., assoc. prof. **Olga Krivenko**

knuba.o.v.k@gmail.com ORCID: 0000-0002-8949-0944

Kyiv National University of Construction and Architecture» (KNUCA)

**TEACHING METHODS OF GEOMETRIC MODELING OF
CURVILEINE SURFACES TO STUDENTS OF ARCHITECTS ON
THE EXAMPLE OF MODERN ALTITUDE ARCHITECTURE**

The article presents the theoretical and methodological foundations of teaching a special course for students - architects on the application of geometric methods of shell formation in the design of modern high-rise buildings.

The basic researches and publications which make a theoretical basis of teaching of a special course for architects with application of geometrical methods of formation of covers at designing of architecturally - constructive decisions of buildings are analyzed.

The relevance of the use of curvilinear shapes in modern high-altitude architecture is substantiated, which is associated with the development of energy-efficient and bioclimatic design in high-rise buildings solved with extensive use of curvilinear surfaces. Directions for modeling changes in the formation of surfaces of high-rise buildings are identified.

Methods of shaping are considered, which are based on geometric modeling of sets of lines, for given design conditions and obtaining by selecting from these sets the corresponding surfaces. An example of their application in the development of architectural - constructive solution of the high - rise complex is presented.

As the experience of teaching has shown, the application of methods of geometric modeling in the development of architectural and structural solutions of buildings, develops in students new skills and design capabilities of architectural design. And the development of research on geometric modeling of surfaces, provides broad prospects for the modernization of the discipline in the future, as well as for the introduction of new areas of educational design.

Keywords: high-rise buildings; curved surfaces; second-order curves, geometric modeling and shaping.