УДК514.18
DOI: 10.32347/0131-579x.2022.103.3-15
к. т. н, доцент **Бідніченко О.Г.**
helenbidnichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0548-3481
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв)

# КРИВІ ТА ПОВЕРХНІ ДРУГОГО ПОРЯДКУ В ПРИРОДІ ТА АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУДАХ

*Дана робота присвячена питанню аналізу кривих ліній та криволінійних поверхонь другого порядку та їх практичного застосування у архітектурних спорудах. У статті проведено аналіз кривих другого порядку, які утворюються конічними перерізами: еліпс, парабола, гіпербола. Наведено їх математичні рівняння, побудовані зображення в прямокутній системі координат. Приведено приклади таких форм у природному середовищі. Проаналізовано утворені від вказаних кривих криволінійні поверхні другого порядку, наведено їх математичний опис та створені схеми наочних зображень у прямокутній системі координат. Наведено поверхні еліпсоїда, показано, що їх відсіки можуть утворювати різноманітні форми будівель в залежності від задума архітектора. Досліджено різні види параболоїдів: еліптичний, гіперболічний. Висвітлені властивості об'єктів, що створені параболоїдами. Розглянуті особливості гіперболоїдів. Особлива увага приділена одно порожнинному гіперболоїду, який використовується при конструювання високих споруд. Досліджено поверхню параболічного циліндра, форму якого мають водостічні жолоби та параболічні арки. Виконано підбір архітектурних споруд, в яких використовуються досліджувані поверхні. Наведено зображення фрагментів конструкцій споруд, елементи якої виконані у формі кривих ліній та поверхонь другого порядку.*

*Ключові слова: конічні перерізи; криві лінії другого порядку; криволінійні поверхні; архітектурні споруди.*

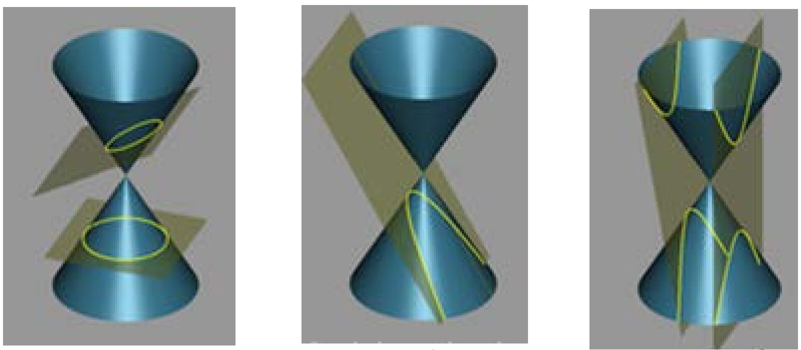
**Постановка проблеми**. Різноманітний світ, що нас оточує, насправді уявляє собою різні варіанти комбінацій невеликої групи геометричних ліній та поверхонь. Спостерігання та вивчення природних явищ дає змогу перенести природні форми та закономірності на штучно створені людиною об'єкти різного призначення. Тому уявляє інтерес проаналізувати математичні криві та поверхні другого порядку й дослідити їх застосування у практичній діяльності людини.

**Ціль статті**. Проаналізувати форму кривих ліній, утворених конічними перерізами, та криволінійних поверхонь другого порядку. Виявити такі форми в природному середовищі та архітектурі, навести приклади реалізованих задумів архітекторів.

**Аналіз основних досліджень і публікацій**. У сучасних літературних джерелах приділяється все більше уваги формам математичних об'єктів зокрема поверхонь другого порядку у якості основних формоутворюючих елементів [1] та їх використанню в різних напрямках людської діяльності, зокрема при архітектурному проектуванні. Математична складова науки [2, 3-5] використовується сучасною архітектурою та адаптується в різних об'єктах у відповідності із задумом проектувальників. Практична реалізація проектів висвітлена в багатьох роботах дослідників [6-9].

**Основна частина**. Спостерігання за природними явищами та процесами дозволяє науковцям узагальнити дані та виявити закономірності для складання теоретичних і математичних моделей об'єктів. Не є виключенням і геометрична наука, яка займає центральне місце в більшості задач конструювання зокрема архітектурних споруд. Архітектори використовують геометрію для вивчення та поділу простору, а потім використовують ці дані у практичній діяльності при формуванні нових проектів. Вивчимо особливості деяких геометричних кривих ліній та утворених ними поверхонь й розглянемо можливі способи їх використання.

*Кривою лінією* називається неперервна сукупність послідовних положень точки, що рухається у просторі. Найбільше застосування серед плоских кривих мають криві другого порядку, які утворюються при перетині конічної поверхні площинами. В залежності від величини кута нахилу площини до осі поверхні прямого колового конуса можуть бути утвореними такі криві: еліпс, парабола та гіпербола (рис.1). Розглянемо їх математичні особливості та знайдемо їх у природному середовищі.



*а* *б* *в*

Рис.1. Конічні перерізи: *а* – еліпс; *б* – парабола; *в* – гіпербола

*Еліпс* – це геометрична множина точок площини, для яких сума відстаней до двох даних точок $F_1$ та $F_2$, які називаються фокусами, є величиною сталою та більше відстані між фокусами (рис.2). Рівняння еліпсу $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$. Якщо $a$=$b$, то отримаємо рівняння кола, як окремий варіант еліпса.

Найбільш яскравим прикладом утворення конічних перерізів, які є кривими другого порядку, є рух космічних тіл (рис.3) навколо зірки або планети в нашій Галактиці.

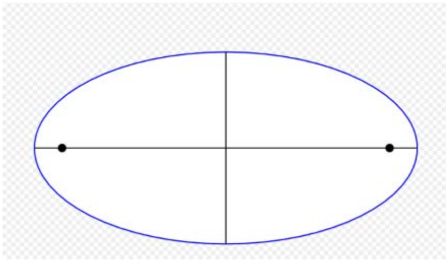


Рис. 2. Зображення еліпса

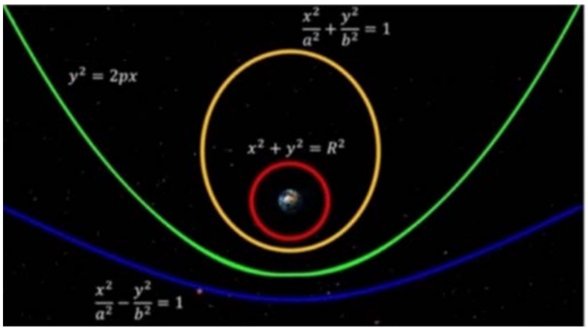



Рис. 3. Конічні перерізи при русі космічних тіл: коло, еліпс, парабола та гіпербола

*Парабола* - це геометрична множина точок площини, які рівновіддалені на відстань $p$ від фіксованої точки $F$, що називається фокусом, та від фіксованої прямої $l$, що називається напрямною параболи або директрисою, на тій же площині (рис.4). Канонічне рівняння параболи $y^2 = 2px$.

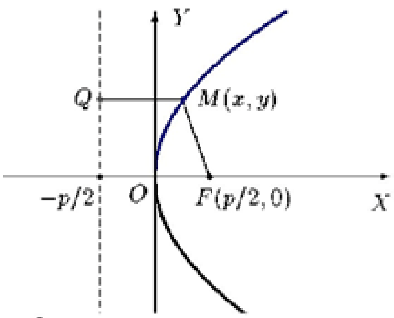
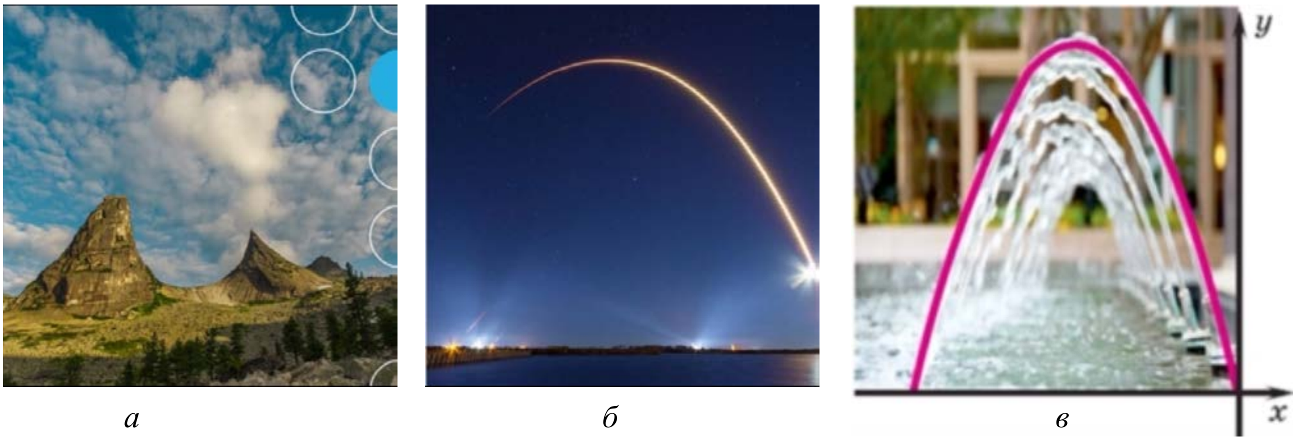



Рис. 4. Зображення параболи

У природі часто можна зустріти параболічну форму в різних об’єктах та явищах. В Перу існує природна скеля, яка називається Парабола Бога (рис.5, *а*). Її форма є незвичайною, як і висота. Важко навіть уявити, що це є природне творіння. Траєкторії стрибків тварин, падіння каміння після кидку або рух зірки, що падає (рис.5, *б*) уявляють собою форму параболи. Дуже цікавими є фонтани (рис.5, *в*), струмені яких витікають у формі параболи, гілки якої спрямовані до низу. Таким же чином падають з висоти природні водопади та вода з гребель гідроелектростанцій.




*а* *б* *в*

Рис. 5. Форма параболи в природі: *а* – скеля Парабола Бога (Перу); *б* – рух зірки, що падає; *в* – рух струменя фонтану

*Гіпербола* – це геометрична множина точок площини, абсолютна величина різниці відстаней від яких до двох заданих точок $F_1$ та $F_2$, які називаються фокусами, є постійною сталою (рис.6). Рівняння гіперболи $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$.

У природі павук плете нитки павутиння у формі гіпербол (рис.7), а саме павутиння має форму гіперболічного параболоїда.

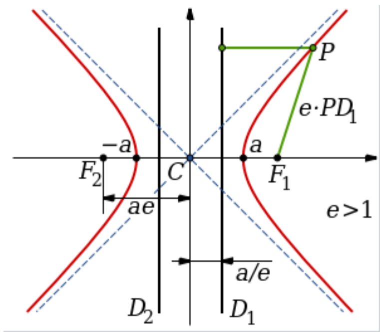



Рис. 6. Побудована гіпербола

Рис. 7. Павутиння у формі гіперболи

*Поверхня* другого порядку - це геометрична множина точок тривимірного простору, прямокутні координати яких задовольняють рівнянню виду $a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{13}xz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0$, в якому принаймні один із коефіцієнтів не є рівним 0.

Розглянемо найбільш значущі та розповсюджені поверхні.

*Еліпсоїд.* Еліпсоїдом називається поверхня тривимірного простору, яка утворена деформацією сфери вздовж її осей. В прямокутній системі координат рівняння еліпсоїда має вигляд $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$, де $a$, $b$ та $c$ – напівосі еліпса (довільні позитивні числа).

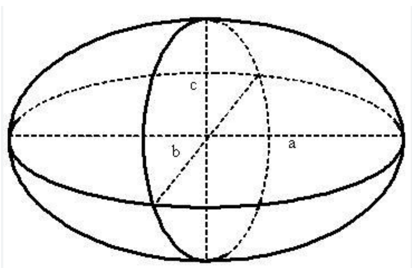



Рис.8. Зображення еліпсоїда

Окремим випадком еліпсоїда є еліпсоїд обертання, в якому дві із трьох напівосей мають однакову довжину. Еліпсоїд обертання – це поверхня обертання у тривимірному просторі, яка утворюється обертанням еліпса навколо однієї із головних осей. В окремому випадку, коли всі три напівосі рівні, вихідний еліпс уявляє собою коло, а еліпсоїд обертання вироджується у сферу.

До переваг такої поверхні можна віднести раціональність проектних рішень, монолітність, обтічність форми та легкість у відтворенні.

Форму еліпсоїда мають деякі камені, метеорити, карликові планети. Також ця поверхня знаходить використання у архітектурі. На рис. 9 наведено приклади офісних будівель з еліптичним каркасом в Туреччині (рис. 9, *а*), офісної будівлі в м. Мумбаї (рис. 9, *б*) та пам’ятник дирижаблю (рис. 9, *в*).

Особливий інтерес уявляють собою інші будівлі, в основу конструкції яких обрано еліпсоїд. У місті Вольфсбург (Німеччина) в 2012 році з’явився новий павільйон сучасної форми та особливої конструкції (рис. 9, *г*). В основу його екстер’єру покладені вигнуті криві лінії, які створюють враження, що нерухома будівля начебто або уповільнює свій рух, або пришвидшує його. Дугоподібна конструкція даху, в основу якої обраний еліпсоїд, нагадує форму автомобіля.

Інша скляна будова (рис. 9, *д*), що знаходиться у Парижі (Франція), здіймається дугою над оточуючими її спорудами й побудовами. Вона поєднує у собі минуле Парижу та його футуристичне майбутнє. Спереду конструкція  нічим не відрізняється від інших будов 19 сторіччя, а ззаду має монолітну конструкцію, яка нагадує спину гігантського броненосця.

*а* *б* *в*

*г* *д* *е*

Рис. 9. Еліпсоїди в архітектурі: а, б - офісні будівлі; в - пам’ятник дирижаблю; *г* – павільйон; *д* – будова фонду Поте; *е* - будівля церкви

Форма будівель у вигляді еліпсоїдів обертання не тільки надає конструкціям архітектурну виразність, але й забезпечує деякі переваги у розподілі внутрішніх силових факторів. Яскравою ілюстрацією функціональності та виразності форм є наведена на рис. 9, *е* будівля церкви в Дюссельдорфі (архітектор П. Шнайдер).

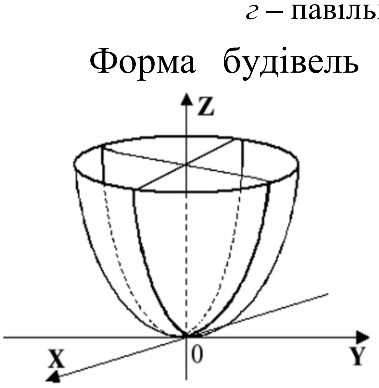


Рис.10. Еліптичний параболоїд

*Параболоїд* – це незамкнена поверхня другого порядку, яка утворюється рухом параболи.

*Еліптичний параболоїд* можна описати як поверхню, яка утворюється рухом параболи, гілки якої напрямлені до гори, а вершина параболи переміщується також по параболі, гілки якої також спрямовані до гори. Еліптичний параболоїд – це поверхня, яка описується в прямокутній системі координат рівнянням $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=2z$, де $a$ та $b$ позитивні параметри, що характеризують параболоїд. Причому для еліптичного параболоїда $a \geq b$. У випадку коли параметри $a$ й $b$ рівні між собою ($a$=$b$) утворюється поверхня параболоїда обертання (рис.10), що утворюється обертанням параболи навколо її осі симетрії.

Розглянемо приклади використання поверхонь еліптичного параболоїда в сучасному житті. У напрямку архітектури це можуть бути

*а* *б* *в*

Рис.11. Поверхні параболоїдів: *а* – купол рейхстагу; *б* – купол цирку; *в* – супутникова антена

Рис.12. Композиція із сфер. Дублін, Ірландія

скляний купол рейхстагу (рис. 11, *а*) в Берліні (Німеччина) та всім відомі з дитинства сферичні куполи будівель цирків (рис. 11, *б*). Конструкція багатьох супутникових антен, зокрема в радіоастрономічній лабораторії (рис. 11, *в*) виконана також у формі еліпсоїда. Крім того сферичні поверхні широко використовуються як малі архітектурні форми (рис. 12).

*Гіперболічний параболоїд* – це поверхня, яка описується рівнянням $\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}=2z$. Гіперболічний параболоїд можна розглядати як поверхню, яка описана рухом параболи, гілки якої напрямлені до низу, а вершина переміщується вздовж параболи, гілки якої напрямлені до гори. При цьому площина параболи переміщується паралельно площині y0z, а вісь симетрії при переміщенні залишається в площині x0z. Крім того гіперболічний параболоїд (гіпар) може бути представлений як двічі лінійчата поверхня

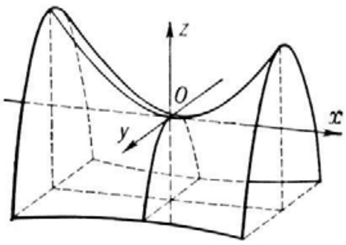



Рис.13. Гіперболічний параболоїд

від'ємної гауссової кривини, тобто поверхня гіперболічного параболоїда складається із прямих, які взаємно перетинаються, що суттєво спрощує розрахунок, конструювання та монтаж оболонок. Ця обставина дає змогу отримати споруду з мінімальною витратою будівельних матеріалів, зокрема бетону та металу.

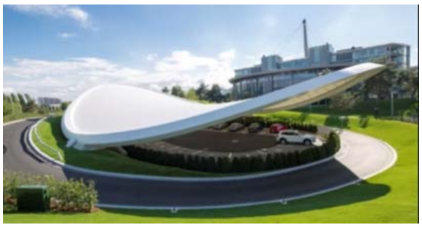
Саме тому форма гіперболічного параболоїда уявляє суттєвий інтерес для роботи архітекторів. Культурний центр Гейдара Алієва в м. Баку (Азербайджан), відкритий у 2011 році, має дах у формі гіперболічного параболоїда (рис. 14, *а*). Сама будівля уявляє собою хвилеподібне прагнення вгору та одночасне плавне злиття із землею. Подібна структура уособлює тривалість та нескінченність, символізує зв'язок минулого з майбутнім. В конструкції використані ширяючі лінії, які начебто природним чином виникають із оточуючого ландшафту.

Поверхня гіперболічного параболоїда придає архітектурним спорудам легкість та повітряність, яку можна спостерігати у конструкції відкритого у 1975 р. аеропорті імені Сент-Екзюпері біля м. Ліон (рис. 14, *б*). Дах паркування у Німецькому м. Вольфсбург (рис. 14, в), міст Миру, що побудовано у м. Тбілісі у 2010 р. (рис. 14, *г*), дах футуристичної будівлі (рис. 14, *д*) сконструйовані у формі гіперболічного параболоїда.

У побутовому житті прикладом такої поверхні може бути форма чіпсів (рис. 14, *е*), які є такими смачними та популярними останнім часом.

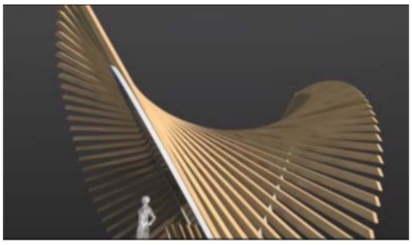
*а*

*б*



*в*

*г*



*д*

*е*

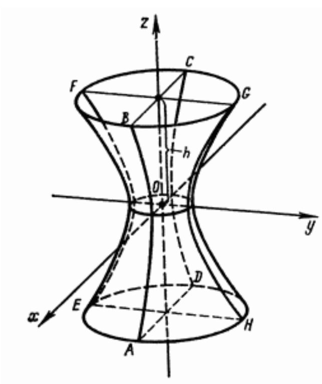
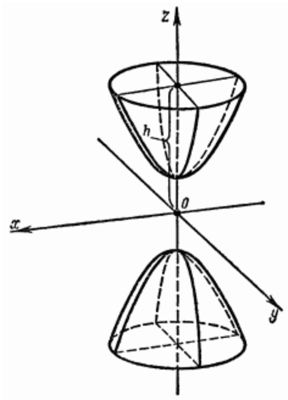
Рис.14. Поверхня гіперболічного параболоїда: *а* – центр Гейдара Алієва; *б* – будівля аеропорту м. Ліон; *в* – дах паркування у м. Вольфсбург; *г* – міст Миру м. Тбілісі; *д* – дах футуристичної будівлі; *е* – чіпси

Великий внесок в розвиток архітектурних форм на основі гіперболічних параболоїдів належить мексиканському інженеру Феліксу Канделі. Він розробив покриття самих різноманітних форм зі спиранням на одну, дві, три, чотири або навіть більше опор. Так, будівля Інституту космічних променів при Університеті в Мехіко (рис.15, *а*) має покриття у вигляді двох гіпарів, з'єднаних ребром, яке окреслено параболою.

Ресторан в Сочимілко (рис.15, *б*) є поєднанням восьми гіперболічних параболоїдів у живописну центричну споруду. Ефект просторової побудови будівлі ресторану збільшується шляхом його розташування біля поверхні водойми, де форма будови стає вдвічі більше за рахунок відображення.


*а* *б*

Рис. 15. Архітектурні форми на основі гіпарів: *а* – павільйон Інституту космічних променів; б – ресторан в Сочимілко

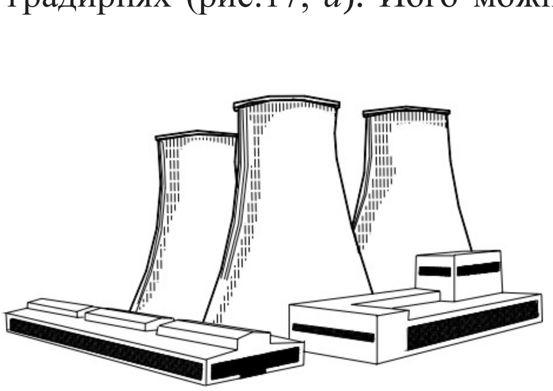
*а* *б*

Рис.16. Поверхня гіперболоїду:
*а* – однопорожнинний гіперболоїд;
*б* – двопорожнинний гіперболоїд

*Гіперболоїд* – це вид поверхні другого порядку у тривимірному просторі, яка задається у декартових координатах рівнянням $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$, де $a$, $b$ – дійсні напівосі, а $c$ – уявна напіввісь.

Це рівняння описує одно порожнинний гіперболоїд. А для двопорожнинного – рівняння має вигляд $-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1$, де $a$, $b$ – уявні напівосі, а $c$ – дійсна напіввісь.

Однопорожниний гіперболоїд обертання є втіленим у багатьох градирнях (рис.17, *а*). Його можна побачити на рис.17, *б* у формі будівлі




*а* *б*

Рис. 17. Поверхня одно порожнинного гіперболоїду: *а* - градирні; б – планетарій.

планетарію у м. Сан-Луї (США).

Поверхня одно порожнинного гіперболоїда крім гіпербол та кіл також має каркасом прямі лінії, які утворюють жорсткий каркас поверхні (рис.18, *а*). Якщо конструкцію з'єднати шарнірами, то вона зберігає жорсткість та свою форму під впливом зовнішніх сил. Для високих споруд фактором небезпеки є вітрове навантаження, яке є відносно невеликим для такої стрижневої конструкції. Тому споруда виходить дуже міцною, незважаючи на малу матеріалоємність.

Численні вежі мають форму поверхні одно порожнинного гіперболоїда. Наприклад, гіперболоїдна сітчаста вежа порту Кобе в Японії (рис.18, *б*), яка була побудована 1963 р. Вежа має висоту 108 м, виконана у вигляді комбінації несучої оболонки із центральним ядром та нагадує традиційний японський барабан у вигляді пісочного годинника.

Телевежа Ганьчжоу у Китаї, будівництво якої було завершено в 2009 р., є другою в світі вежею за висотою (рис. 18, *в*). Загальна її висота складає 600 м. До позначки 450 м вежа зведена у вигляді комбінації гіперболоїдної несучої сітчастої оболонки та центрального ядра. Сітчасту оболонку виконано із сталевих труб великого діаметра. Вежу вінчає шпиль висотою 160 м.

*а* *б* *в* *г*

Рис.18. Сітковий каркас поверхні одно порожнинного гіперболоїда: *а*- архітектурна конструкція; б – вежа порту Кобе; *в* – телевежа Ганьчжоу; *г* – Аджигольський маяк

На рис.18, *е* фотографія Аджигольського маяка, що знаходиться біля м. Херсон на півдні України. Маяк був побудований ще у 1911 р. та є діючим до нашого часу. Споруда має вигляд сіткової оболонки в формі одно порожнинного гіперболоїда обертання. Висота маяка 64 м, це найвисока односекційна гіперболоїдна вежа, яку побудував В.Г. Шухов.

Описані вище вежі відповідають за конструкцією патенту інженера В.Г. Шухова на гіперболоїдні вежі і аналогічні шуховським вежам, перша з яких була побудована ще у 1896 р.

*Параболічний циліндр* – така циліндрична поверхня, яка утворюється переміщенням твірної прямої лінії вздовж напрямної параболи (рис.19). Математичне рівняння поверхні в прямокутній системі координат має вигляд $y^2 = 2px$, де $p$ – фокальний параметр, тобто відстань від фокуса параболи до її директриси. Таку поверхню можна побачити щоденно, коли проходиш біля будівель з водостічними жолобами.

Параболічний циліндр використовується у параболічних склепіннях. На рис. 20, *а* наведено зображення ангара в Орлі біля м. Париж (Франція), будівництво якого тривало з 1916 р. до 1924 р. Спроектував таку конструкцію відомий французький інженер Е. Фрейсіне. Раніше, у 1905 р., ним же було спроектовано і побудовано циліндричну параболічну оболонку для перекриття 30-метрового прольоту на заводі в Монлюсоні (Франція).

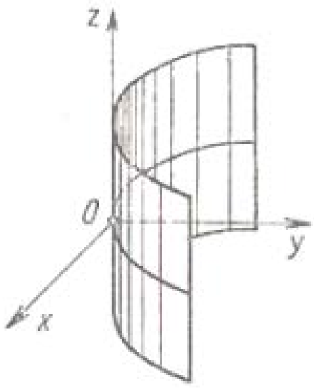
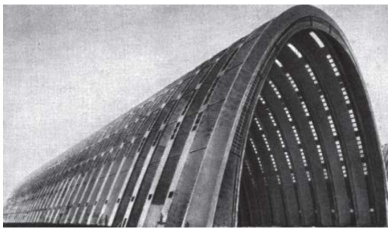


Рис. 19. Поверхня параболічного циліндра

На рис. 20, *б* представлено фото мосту в Афінах, побудоване за проектом архітектора Сантьяго Калатрава (Греція). Ажурна параболічна конструкція дає відчуття легкості та витонченості.

Наступні два фото (рис.20, *в, г*) показують використання параболічних арок в роботах іспанського архітектора Антоніо Гауді. Параболічна арка в домі, який він спроектував, фасад храму Саграда Фамілія, розташований в іспанському місті Барселона.


*а*


*б*


*в*


*г*


*д*

Рис. 20. Поверхні параболічного циліндру: *а* – ангар в Орлі (Франція), б – міст в м. Афіни; *в* – арка в домі; *г* – фасад храму Саграда Фамілія; *д* – коридор

Стеля й стіни цього коридору (рис.20, *д*) також описані поверхнею параболічного циліндру.

Таким чином, криві лінії та криволінійні поверхні другого порядку існують у природних об'єктах та знаходять широке застосування при створенні архітектурних споруд та будівель різного призначення.

**Висновки та перспективи**. В роботі проаналізовано криві другого порядку, які утворюються конічними перерізами: еліпс, парабола, гіпербола. Проаналізовано криволінійні поверхні другого порядку, утворені від вказаних кривих; наведено їх математичний опис та створені схеми наочних зображень у прямокутній системі координат. Виконано підбір природних явищ та архітектурних споруд, в яких використовуються досліджувані криві та поверхні. Наведено зображення фрагментів споруд, елементи якої виконані у формі кривих ліній та поверхонь другого порядку

## Література


1. *Михайленко В.Е., Обухова В.С., Подгорный А.Л.* Формообразование оболочек в архитектуре: монографія. Киев: Будивельник, 1972. 205с.
2. *Ильин В.А., Позняк Е.Г.* Аналитическая геометрия. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. 240 с.
3. *Michael Leyton*. A Generative Theory of Shape. Springer, 2001. ISBN 978-3-540-42717-9.
4. *V. Anpilogova, S. Botvinovska, A. Zolotova, H. Sylimenko.* (2019) Study of problem on constructing quadrics at the assigned tangent cones. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 5/1 (101), 39–48. doi:http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180859
5. *Сальков Н.А.* Общие принципы задания линейчатых поверхностей. Часть 2. / *Геометрия и графика*. 2019. Т.7. №1, С. 14–27. DOI: 10.12737/ article_5c9201eb1c5fD6.47425839.
6. *Ваванов Д.А.* Использование форы однополостного гиперболоида в архитектуре. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-kompyuternoy-modeli-vodonapornoy-bashni-v-g-shuhova.
7. *Мамиева И.А.* Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях / Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1.
8. *Ботвиновская С.І., Васько С., Суліменко Г.Г.* Особливості комп'ютерного моделювання об'єктів архітектури та дизайну до складу яких входять поверхні обертання другого порядку / *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 40. С.102-111. dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11969049.
9. *Короткий В.А., Усманова Е.А.* Применение кривых второго порядка для конструирования гладких каркасно-сетчатых поверхностей. https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-krivyh-vtorogo-poryadka-dlya-konstruirovaniya-gladkih-karkasno-setchatyh-poverhnostey/viewer

**References**

1. *Mikhailenko V.E., Obukhova V.S., Podgorny A.L.* Formation of shells in architecture: monograph. Kyiv: Budivelnik, 1972. 205p.
2. *Ilyin V.A., Poznyak E.G.* Analytic geometry. Moscow: FIZMATLIT, 2002. 240 p.
3. *Michael Leyton.* A Generative Theory of Shape. Springer, 2001. ISBN 978-3-540-42717-9.
4. *V. Anpilogova, S. Botvinovska, A. Zolotova, H. Sylimenko*. (2019) Study of problem on constructing quadrics at the assigned tangent cones. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/1 (101), 39–48. doi:http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180859 {in Ukrainian}
5. *Salkov N.A.* Obshchiye printsipy zadaniya lineychatykh poverkhnostey. Chast 2. / *Geometriya i grafika*. 2019. T.7. №1. S. 14–27. DOI: 10.12737/ article_5c9201eb1c5fD6.47425839.
6. *Vavanov D.A.* Ispolzovaniye fory odnopolostnogo giperboloida v arkhitekture. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-kompyuternoy-modeli-vodonapornoy-bashni-v-g-shuhova.
7. *Mamiyeva I.A.* Analiticheskiye poverkhnosti dlya parametricheskoy arkhitektury v sovremennykh zdaniyakh i sooruzheniyakh / *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2020. № 1.
8. *Botvinovskaya S.I.. Vasko S.. Sulimenko G.G.* Osoblivosti komp'yuternogo modelyuvannya ob'єktiv arkhitekturi ta dizaynu do skladu yakikh vkhodyat poverkhni obertannya drugogo poryadku / U*pravlinnya rozvitkom skladnikh sistem*. 2019. № 40. S.102-111. dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11969049.
9. *Korotkiy V.A. Usmanova E.A.* Primeneniye krivykh vtorogo poryadka dlya konstruirovaniya gladkikh karkasno-setchatykh poverkhnostey. https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-krivyh-vtorogo-poryadka-dlya-konstruirovaniya-gladkih-karkasno-setchatyh-poverhnostey/viewer

Ph. D., assoc. prof **Helen Bidnichenko**
helenbidnichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0548-3481
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv)

## CURVES AND SURFACES OF THE SECOND ORDER IN NATURE AND ARCHITECTURAL STRUCTURES

*This work is devoted to the analysis of curved lines and curvilinear surfaces of the second order and their practical use in architectural structures. The article analyzes the curves of the second order formed by conic sections: ellipse, parabola and hyperbola. Their mathematical equations are given; images are constructed in the Cartesian coordinate system. Examples of such forms in the natural environment are given. Curvilinear surfaces of the second order formed from these curves are analyzed, their mathematical description is* *given, and diagrams of visual images in the Cartesian coordinate system are created. The surfaces of the ellipsoid are shown, it is shown that their compartments can form various forms of buildings, depending on the architect's intention. Various types of paraboloids have been studied: elliptical, hyperbolic. The properties of objects created by paraboloids are consecrated. The features of hyperboloids are considered. Particular attention is paid to the single-sheeted hyperboloid, which is used in the construction of tall structures. The surface of a parabolic cylinder, the shape of which has gutters and parabolic arches, has been studied. The selection of architectural structures in which the studied surfaces are used is carried out. The images of fragments of structures, the elements of which are made in the form of curved lines and surfaces of the second order, are given.*

*Key words: conic sections; curved lines of the second order; curved surfaces; architectural structures.*