

УДК 624.15.001

Хозяйкіна Н.В., к.т.н., доц., Тиранська В.Р. студ. гр. 192-20ск-1ФБ  
*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро,  
Україна*

## **ВІДОБРАЖЕННЯ МАТЕМАТИКИ В АРХІТЕКТУРІ**

Будівлі й споруди зводилися для зручності життя і діяльності людини ще з давніх часів епохи кам'яного віку. Зведені споруди повинні були володіти необхідною міцністю, довговічністю та красою. Починаючи з пірамід і закінчуючи складними конструкціями сучасного дизайну, архітектура і математика були нерозривно зв'язані. Насправді, неможливо зрозуміти архітектуру, не розглядаючи математику позаду неї. Математика – головний путівник до архітектури. Без математичних дій неможлива реалізація архітектурного об'єкта. Не дарма кажуть: «Математика – цариця усіх наук, символ мудрості»...

Проте, задля більшого розуміння зв'язку необхідно дати визначення поняттю «архітектура», яка має багато значень, суть яких одна: архітектура – це найдавніша сфера людської діяльності - «мистецтво будувати», та її результат. Головний сенс поняття архітектури полягає в тому, що це сукупність будівель і споруд різного призначення, це простір, створений людиною і необхідний для його життєдіяльності, який формує просторове середовище для життя і діяльності людей відповідно до законів краси.

На сучасному етапі розвитку людства архітектура становить одну з найважливіших частин виробництва (промислова архітектура - будівництво заводів, фабрик, електростанцій тощо) та матеріальних засобів існування людського суспільства (громадянська архітектура - житлові будинки, громадські споруди та інше).

Функціональне призначення будівлі визначається її типом, залежно від якого обираються засоби створення певного художнього вигляду. Останній створюється за допомогою засобів архітектурної композиції. Серед її основних засобів архітектоніка, масштаб, пропорції та ритмічні відношення, пластика, фактура та кольори, які тісно пов'язані з законами математики [1].

Метою роботи є обґрунтування питань взаємовідношення архітектури і законів математики та розглянути основні способи досягнення архітектурних форм будівель, що сприяють найкращому зоровому сприйняттю і появі відчуття краси і гармонії, з урахуванням міцності.

Слід сказати, що архітектура зароджувалась разом з людством, супроводжувала його в історичному розвитку. У ній показується світогляд, цінності, знання людей, що жили в різні історичні епохи. Архітектурні пам'ятники, що дійшли до нас з глибини століть, допомагають нам зрозуміти

цілі, погляди, думки, традиції й звички, уявлення про красу, рівень знань людей, які колись жили на Землі.

Якщо досліджувати минуле, можна припустити, що початкове зародження архітектури відноситься до часу первіснообщинного ладу, коли виникли перші штучно споруджувані житла і поселення (наприклад, «менгіри», «дольмени»), рис. 1 [2].



Рис. 1. Дольмени

Саме в епоху неоліту людина почала будувати перші житла, використовуючи природні матеріали. Розпочалось з того, що перша печерна людина почала шукати житло: спочатку це були печери, потім курені, а пізніше людина стала будувати і застосовувати в будівництві справжнісіньку, хоч і примітивну, геометрію. Спочатку застосовувалась палка для виміру «домівок», згодом така палка перетворилася на лінійку. Були освоєні найпростіші прийняття організації простору на основі прямокутника і кола, з яких почався розвиток конструктивних систем з опорами-стінами або стійками.

Математика тісно пов'язана з природою. Було встановлено, що числовий ряд чисел Фібоначчі характеризує структурну організацію багатьох живих систем. Виникає питання: «Що таке ряд Фібоначчі?». Ряд Фібоначчі, або ще називають «числа Фібоначчі» - елементи числової послідовності 0,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,144 і т.д. (ряду Фібоначчі), в якій кожний наступний член дорівнює сумі двох попередніх [3]. Леонардо Пізанський (відоміший як Фібоначчі) - італійський математик XIII століття, автор математичних трактатів, розглянув також ідею так званих чисел Фібоначчі [4]. Якщо розділити кожен член цього ряду на попередній, то отримані данні будуть прагнути до числа  $\approx 1,6180339$ . Це значення прийнято називати коефіцієнтом пропорційності, або «золотим перетином». Відомо, що це число використовували єгиптяни при будівництві знаменитої піраміди (рис. 2), а також стародавні греки та зодчі при зведенні класичних споруд - храмів, церков і т.п.

Всі піраміди мають абсолютно однакову правильну форму. В основі піраміди, як правило, квадрат, сторони - трикутник, вершини яких сходяться в одній точці. Крім того піраміди складаються з, так званих, священних або

єгипетських трикутників, сторони яких дорівнюють натуральним числам: 3, 4, 5. Трикутник з таким ставленням завжди виходив прямокутним [5].

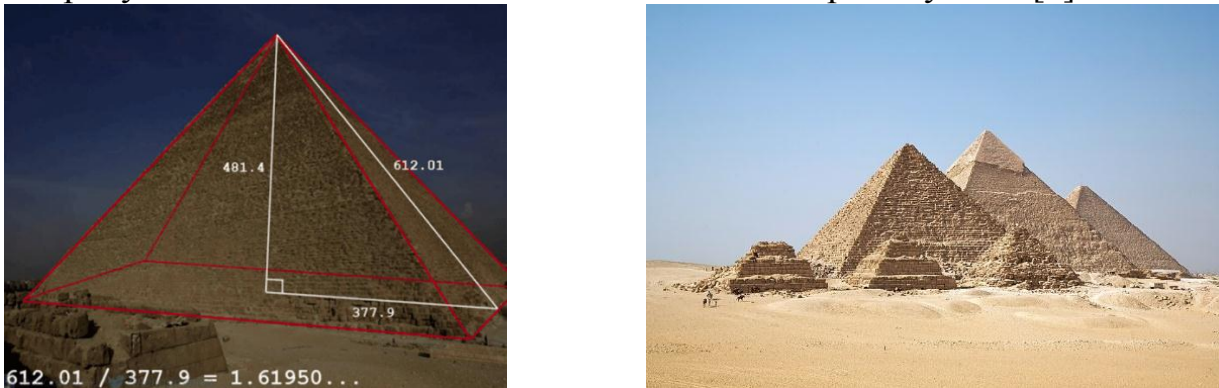


Рис. 2. Єгипетські піраміди

Вже зрозуміло, що в давнину люди надавали глибоке символічне значення, як числам, так і геометричним фігурам, а піраміда стала символом вічності.

Ряд чисел Фібоначчі наочно моделюється (матеріалізується) у формі спіралі, рис. 3а, а в природі спіраль золотого перетину виглядає, наприклад, як наведено на рис. 3б, на рис. 3в, втілення законів природи і математики на прикладі гвинтових сходів.

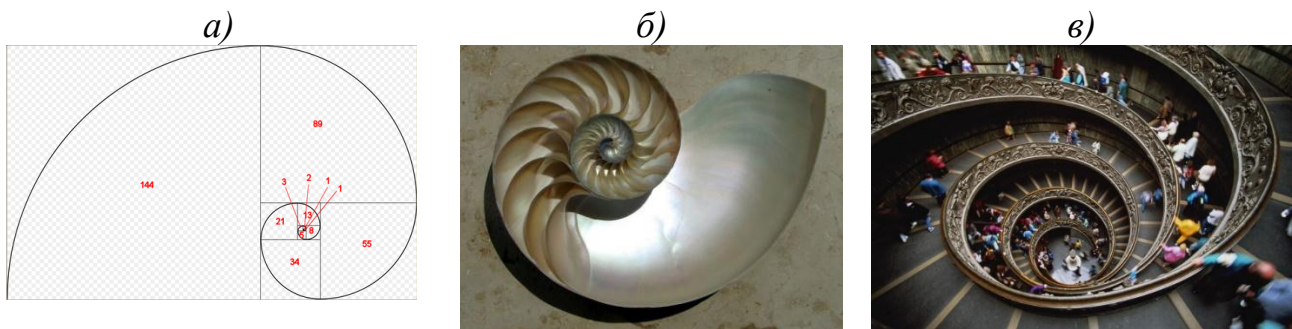


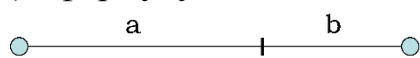
Рис. 3. Матеріалізація ряду чисел Фібоначчі у формі спіралі

Математики розробили багато методів отримання цього відношення на практиці. У книгах можна знайти зауваження про те, що в архітектурі, як і в живописі, все залежить від положення спостерігача, і якщо деякі пропорції в будівлі з одного боку здаються утворюють «золотий перетин», то з інших точок зору вони будуть мати інший вигляд. «Золотий перетин» дає найбільш спокійне співвідношення розмірів тих чи інших довжин.

«Золотий перетин» став не тільки інновацією свого часу, а й, як називали деякі математики середньовіччя, «божественною пропорцією». Цей термін ввів Леонардо да Вінчі - відомий художник, математик.

Формальне визначення звучить і просто, і складно. Його пов'язують з двома різними за розміром відрізками. Звучить цей принцип приблизно так: якщо відрізок розділити на дві нерівні частини, то цей розподіл буде

пропорційним, якщо більша частина відрізка відноситься до цілого так само, як і менша частина більшого. Буде зрозуміліше, якщо подивитися на ілюстрацію (рис. 4) і формулу.



$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \sim 1.618$$

Рис. 4. Графічне відображення «золотого перетину» та відображення його у формулі

Найбільш же відомим і яскравим прикладом застосування золотого перетину в античній архітектурі є, мабуть, Парфенон (рис. 5). Він був побудований в 447 - 438 роках до н. е. архітектором Каллікратом за проектом Іктіна. Відношення висоти будівлі до його довжини одна - 0,618 тисячних. Якщо зробити розподіл Парфенона по «золотому перетину», то отримаємо наступні виступи фасаду (рис. 5а) [6].



Рис. 5. Приклад застосування золотого перетину та пропорцій Фібоначчі: в античній архітектурі храм Перфенону а); золотий перетин; б) золота спіраль

Ця математична пропорція золотого перетину надає архітектурній будівлі красу, радує око людини. Можливо, це і буде ще одним припущенням, що математика може надавати естетичний вплив архітектурі, а це істотний зв'язок між архітектурою і математикою.

Тобто, головна заслуга математики полягає в тому, що вона виявляє глибинні властивості, які закладені в природі, але не лежать на поверхні.

Саме архітектурі властиво бути тісно пов'язаною з геометрією. При створенні архітектурних проектів цікава для архітектора геометрична поверхня, яка називається гіперболічним параболоїдом. Як пов'язані ці геометричні фігури і архітектура?

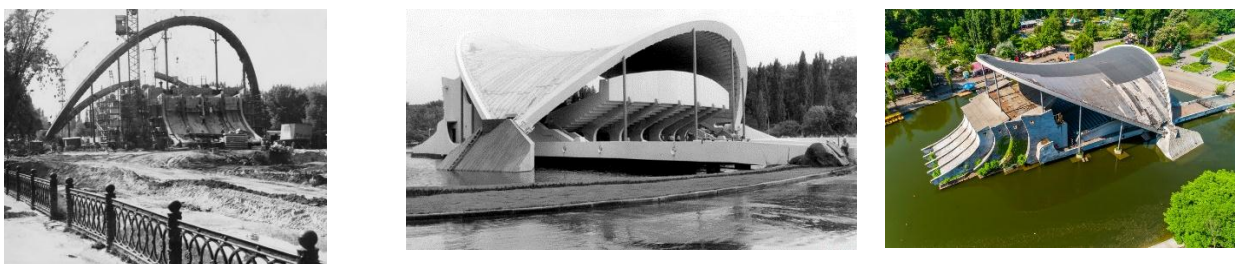
Справа в тому, що в будівельній сфері постійно з'являються нові матеріали. Це дозволяє проектувати тонкий каркас із залізобетону, а також стіни зі скла. Такі особливості можна запропонувати на прикладі американських хмарочосів.

Архітектурний і будівельний потенціал гіперболічного параболоїда: сідловидна геометрія надає конструкціям, в тому числі з бетону, структурну міцність і стійкість до розтягування і стиснення – розкрив для світу архітектури будівництва Фелікс Кандела. «Вигнуті поверхні, - пояснює Кандела, - завжди міцніше. Саме тому скручуються раковини равліка і це ж є причиною складання автомобілів з гнутих листів стали» [7].

Сам Кандела називав свої витончені конструкції з надтонкого бетону *cascarones* (оболонки). Дивно, але будувати футуристичні хвилясті конструкції виявилось навіть дешевше, ніж спорудження традиційної прямолінійної форми або купольні дахи - на них було потрібно менше бетону, і вони, не дивлячись на свою зовнішню крихкість, виявилися набагато міцнішими і сейсмостійкішими.

Наприклад, легка бетонна раковина ресторану Los Manantiales (1958 р.) в формі квітки лотоса витримала кілька руйнівних землетрусів, в тому числі у вересні 2017 року, що ще раз підтвердило видатні якості розробок Фелікса Кандели.

У нашому місті теж є архітектурна споруда зі застосуванням геометричної поверхні у вигляді гіперболічного параболоїда [8]. Це всім відомий літній театр у центральному парку відпочинку ім. Л. Глоби, збудований у 1978 році. Театр вміщує 1100 глядацьких місць та розташований на воді (рис. 6).



*Рис. 6. Унікальний проект літнього театру на воді в центрі Дніпра зі застосуванням геометричної поверхні у вигляді гіперболічного параболоїда*

Ще одним прикладом зв'язку архітектури з геометрією є сучасний архітектурний стиль “хай тек”, всі конструкції якого відкриті для загального огляду.

Завдяки використанню формул вищої математики, будівлям властива висока міцність.

Актуальність вищої математики пояснюється і використанням химерних форм у вигляді складних, вигнутих (опуклих і увігнутих) поверхонь.

Дивлячись у сучасність, можна привести приклад, як архітектори обирають форму будівлі задля захисту від навколишнього середовища. Наприклад, хмарочос Сент-Мері Екс 30 у Лондоні, відомий як «Огірок» за його форму - це тіло обертання, спроєктоване з використанням параметричного моделювання, наведена на рис. 7 [9].

Його геометрія була обрана не лише з чисто естетичних причин, а й для мінімізації вихорів повітря по його низу. Незважаючи на те, що його поверхня є викривленою, всі скляні панелі поверхні є плоскими, крім лінзи нагорі. Більшість з панелей є чотирикутниками, оскільки вони всі можуть бути вирізані з прямокутного скла з меншими втратами ніж трикутні панелі.

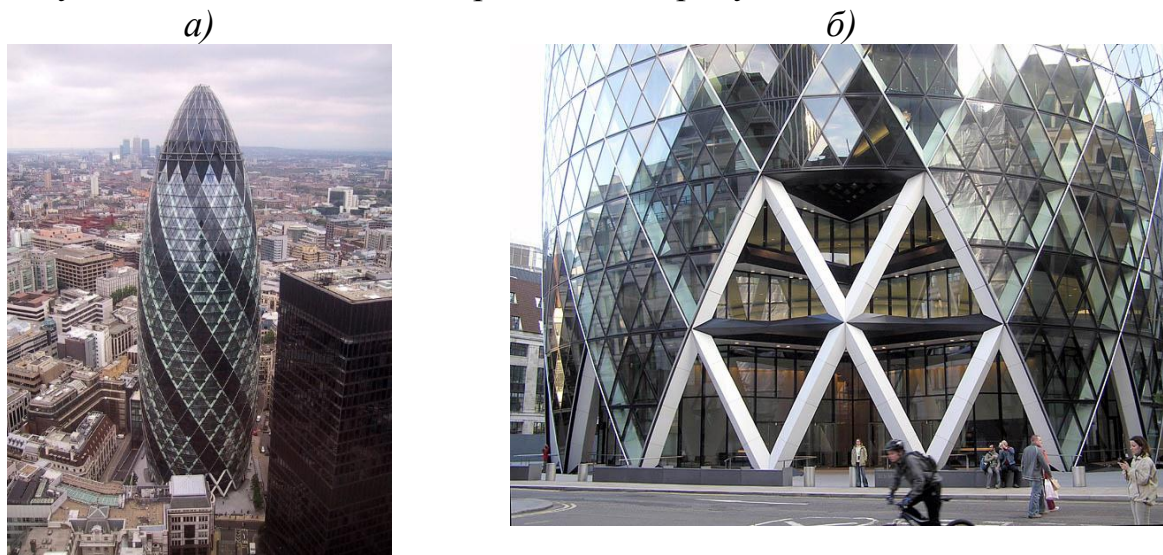


Рис. 7. Хмарочос Сент-Мері Екс 30 (Великобританія, Лондон):  
а) – загальний вигляд; б) нижня частина бапти

Розглядаючи сучасне архітектурне оздоблення, зрозуміло, що не обійшлась без нових математичних внесень. Наприкінці 20-го сторіччя новітні математичні утворення, такі як фрактальна геометрія та аперіодичний поділ, почали використовуватись архітекторами для утворення цікавих та привабливих оздоблень для будівель. Прикладом є Ревенсборнський коледж, створений 2010 році за проєктом «Foreign Office Architects» у Лондоні (рис. 8), декоративно тесельований 28 000 плитками з анодованого алюмінію червоного, білого та коричневого кольору, які поєднують круглі вікна різних розмірів. Теселяція використовує три типи плитки, які утворюють математичні принципи: рівносторонній трикутник та два неправильні п'ятикутники [10].

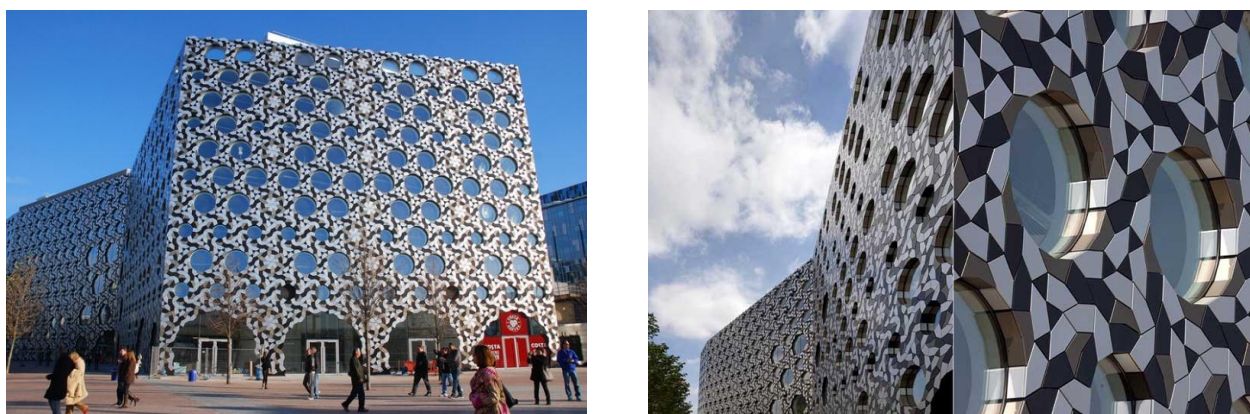


Рис. 8. Ревенсборнський коледж, сучасний корпус (Ravensbourne College)

Отже, підсумовуючи, можна зробити висновок, що математика з архітектурою безпосередньо пов'язані – математика є незамінною частиною архітектури, однією з її основ. Так, розглянуті математичні пропорції золотого перерізу надають архітектурним будівлям красу та приваблюють людське око, а отже, математика має естетичний вплив на архітектуру. Геометричні форми визначають естетичні, експлуатаційні та міцнісні властивості архітектурних споруд різних часів і стилів, які з розвитком будівельних технологій можливості застосування геометричних форм розширюються. Геометрія була розглянута як теоретична база для створення архітектурного мистецтва. Повертаючись у минуле, побачили, що архітектура і математика, які були відповідними проявами людської культури, протягом століть активно впливали один на одного и продовжують впливати дотепер. Вони давали один одному нові ідеї та стимули, спільно ставили й вирішували завдання. Завдяки цьому зароджується можливість створювати щось інноваційне та незвичне.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Електронний ресурс <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%85%D1%96%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0>
2. Електронний ресурс <https://sites.google.com/site/glossaryarchitecture/home/zarodzenna-arhitekturi>
3. Електронний ресурс [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B0\\_%D0%A4%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%87%D1%87%D0%B8](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B0_%D0%A4%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%87%D1%87%D0%B8)
4. Електронний ресурс <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%96%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%87%D1%87%D1%96>
5. Електронний ресурс [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D1%82%D1%80%D0%B5%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B5%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA)
6. Електронний ресурс <https://sites.google.com/site/kejsurokizos19/zolotij-pereriz>
7. Електронний ресурс <https://pragmatika.media/giperbolicheskij-parabaloid-feliksa-kandely/>
8. Електронний ресурс <https://dnepr.info/news/lebed-ili-rakushka-unikalnyj-proekt-letnego-teatra-na-vode-v-tsentre-dnepra>
9. Електронний ресурс [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BD%D1%82-%D0%9C%D0%B5%D1%80%D1%96\\_%D0%95%D0%BA%D1%81\\_30](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BD%D1%82-%D0%9C%D0%B5%D1%80%D1%96_%D0%95%D0%BA%D1%81_30)
10. Електронний ресурс [https://www.wikiwand.com/uk/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0\\_%D1%82%D0%B0\\_%D0%B0%D1%80%D1%85%D1%96%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0](https://www.wikiwand.com/uk/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%82%D0%B0_%D0%B0%D1%80%D1%85%D1%96%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0)