

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.205-220

УДК 728

Хоменко У.-М. В.,
uliana-mahdalyna.v.khomenko@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-9352-9269,
Національний університет «Львівська політехніка»

ФЕНОМЕН ГЕОМЕТРІЇ В ІСТОРІЇ АРХІТЕКТУРИ ТА МІСТОБУДУВАННЯ

Розглянуто поняття геометрії як невід'ємної складової збудованого середовища. Досліджено ступінь впливу геометрії на розвиток архітектури та містобудування. Визначено ключові геометричні принципи, які формували архітектуру впродовж історії людства. Досліджено множини геометричних характеристики які формують геометричний вимір архітектури. Досліджено геометрію архітектури в контексті естетики та функції. Виявлено семантичний код геометрії архітектури, досліджено її роль у задоволенні практичних та духовних потреб людини.

Ключові слова: геометрія архітектури; пропорції; формотворення; культові споруди

Постановка проблеми. Від початку свого існування до сьогодні людина прагне раціонально та ефективно організувати простір навколо себе. Початково цей процес був пов'язаний з задоволенням базових життєвих потреб, таких як безпека та виживання, та водночас, набував глибших, сакральних сенсів. Спільним знаменником у задоволенні практичних та духовних потреб людини стало використання геометрії у формуванні архітектури та міського простору. Це засвідчує як геометрія архітектури неолітичного Стоунхенджу так і параметрична архітектура сучасності. У множині характеристик середовища, геометричні – відповідають за його візуальну складову. Тому зміна та динаміка простору найкраще відображається в геометрії, значущість якої важко переоцінити. Аналіз геометричних характеристик архітектури, методів їх використання та впливу на людину відкриє нові можливості для гармонізації міського планування та архітектурних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи феномен геометрії в архітектурі, слід відзначити ряд науковців, які досліджували різні аспекти цього явища. Так, питання використання геометричних принципів у проектуванні досліджували L. Van Der Waerden [15], та Е.-Е. Viollet-le-Duc [13]. Сакральні аспекти геометрії та її застосування в давньоєгипетських пірамідах детально розглядали G.B. Meisner [10] і T. Bellone [2]. Фрактальна геометрія в

контексті готичної архітектури є предметом досліджень N.S. Ramzy [11], яка підкреслює її символічний зміст.

Серед українських дослідників слід відзначити роботи М. Габреля [1], який досліджує геометричні задачі в урбаністиці, а також І. Маслікова [8] та А. Федак [12], роботи яких дотичні до вивчення геометричних аспектів планування міського простору.

Метою дослідження є виявлення ключових геометричних принципів, що впливали на формування архітектури та містобудування в різні історичні періоди. Дослідження спрямоване на аналіз геометричних характеристик архітектурних форм та їх ролі у створенні гармонійного, функціонального і естетичного простору, зокрема у контексті їх семантичного значення та впливу на задоволення практичних та духовних потреб людини.

Виклад основного матеріалу. Давній Єгипет. Прагнення людства навести лад у хаосі реальності відображаються у пошуку законів всесвіту та світобудови, які в значній мірі пов'язані з геометрією. Прийнято вважати, що перші відкриття у галузі геометрії належали древнім Єгиптянам, хоча є докази, що витoki геометрії ведуть ще до цивілізації Межиріччя.

Знання Єгиптян у галузі математики та зокрема геометрії зафіксовані у давньому тексті «Райнда» названому на честь науковця який купив даний сувій в м. Луксор та передав його Британському музею. Папірус датується другим тисячоліттям до н. е та починається обіцянкою навчити «Досконалому та ґрунтовному пізнанню всіх речей, розумінні їх суті, пізнанню всіх таємниць...». Цей текст, та інші збережені тексти того часу засвідчують володіння єгиптянами дробами і що найважливіше «землемірством» – геометричними задачами, які були обумовлені практичною необхідністю у будівництві та землекористуванні. Геометрія тих часів була міцно зв'язана з сільським господарством, а саме з розподілом родючих земельних ділянок, які утворювали в наслідок розливу річки Ніл а також у будівництві. Саме під час розливу Нілу, яке фактично було щорічним поверненням хаосу геометрія набувала сакральних властивостей для відновлення порядку та рівноваги [2]. Для пропорційного розподілу ділянок, щороку, до роботи приступали так звані «Harpedonaten» (грец. «натягувач мотузки») – землеміри, основним інструментом яких був прямокутний трикутник та натягнута мотузка. Єгиптяни уміли знаходити площу трикутника, чотирикутника і кола, визначати об'єми та вирішувати багато інших геометричних задач [15]. Саме ці знання допомогли створити складні іригаційні системи та одне з семи чудес світу – піраміди. Найбільш впізнаваним є комплекс пірамід в Гізі, а саме піраміда Хеопса, Хефрена та Мікерина.

Використання єгиптянами співвідношення цілих чисел отримало відображення безпосередньо і в архітектурі великих усипальниць. Досконало правильна форма пірамід – квадрат в основі та трикутники-сторони які сходяться в одній точці була забезпечена бездоганними геометричними розрахунками і вимірюваннями.

Звісно, архетипом серед геометричних фігур, що використовувались в давньоєгипетській архітектурі, зокрема в архітектурі пірамід був трикутник. А саме, такі його види:

1. Прямокутний трикутник з співвідношенням сторін 3,4,5 — це прямокутний трикутник, який належить до групи прямокутних, у яких усі три сторони відповідають цілим числам. Згодом, числа 3,4,5, названо трійкою Піфагора.

2. Рівносторонній — трикутник із трьома рівними сторонами,

3. Рівнобедренний — дві сторони рівні й основа відрізняється, у якому співвідношення між основою та висотою приблизно 8:5.

У 1863 році Віолле-ле-Дюк, французький архітектор, мистецтвознавець та історик архітектури, аналізуючи архітектуру пірамід припустив, що *трикутники* є основою дизайну будь-якого гармонійного стилю архітектури: трикутник 3-4-5, рівносторонній трикутник і той, що він назвав «єгипетським» трикутником. За його словами рівносторонній трикутник повністю задовольняє око. Він представляє три рівні кути, три рівні сторони, поділ кола на три частини, перпендикуляр, опущений з вершини, що ділить основу на дві рівні частини, і утворення шестикутника, вписаного в коло і ділить його на шість рівних частин. Регулярність і стабільність геометричної фігури приносить найбільше задоволення розуму, і відповідає умовам, які радують око.

Рівнобедренний, трикутник тісно пов'язаний з рівностороннім і, по суті, походить від нього. У піраміді, в якій вертикальний переріз, паралельний довжині сторони основи, відповідає рівносторонньому трикутнику, переріз уздовж діагоналі основи є трикутником, який Віолле-ле-Дюк назвав «єгипетським» (рис.1).

У «єгипетському» трикутнику Віолле-ле-Дюка співвідношення між основою та висотою (що було б ірраціональним числом) можна наближено визначити за допомогою співвідношення 4:2,5 або 8:5. Що стосується рівностороннього трикутника, Віолле-ле-Дюк зауважив, що відношення 5 у висоту та 8 у ширину задовольняє око. Зараз, хоча важко довести, чому візуальне відчуття приємне чи неприємне, але можна окреслити це відчуття. «Розміри стають пропорціями, сприйнятими оком, тобто порівняльними відношеннями довжини, ширини та поверхонь, лише тоді, коли між цими вимірами існують відмінності. Відношення 1 до 2 або 2 до 4 не є

відмінностями, а рівними поділами подібних, що відтворюють подібні. Коли метод пропорцій зобов'язує дизайнера, так би мовити, поділяти від 8 до 5, наприклад, 5 не є ні половиною, ні третьою, ні четвертою з 8, підтримуючи відношення до 8, яке око не може визначити, ви вже маєте на самому початку засіб отримання контрастів, необхідних для задоволення основного закону пропорцій» [13].

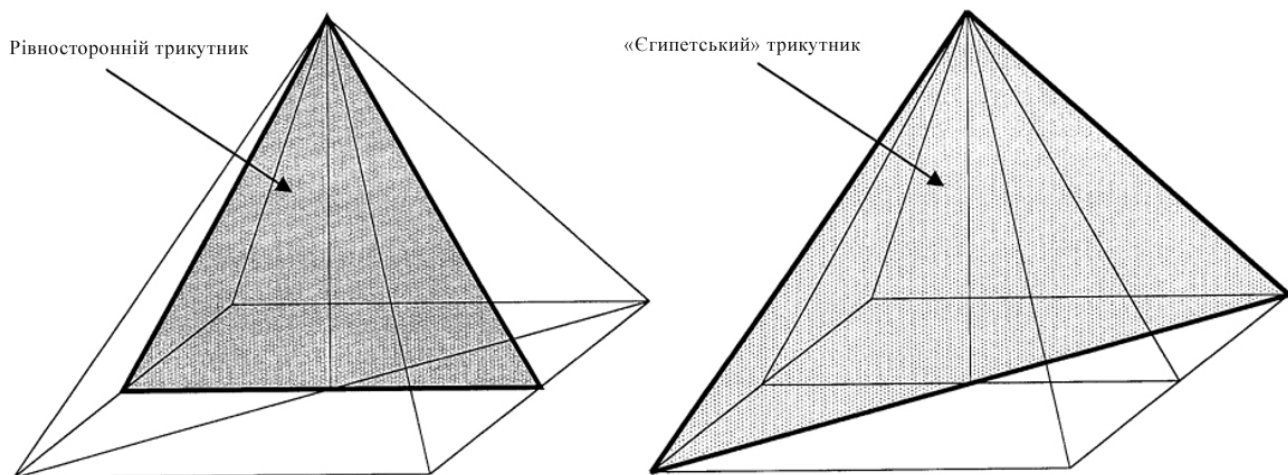


Рис.1. Рівносторонній та «Єгипетський» трикутники за Віолле-ле-Дюком [13]

Співвідношення висоти та основи «єгипетського» трикутника $8/5$ (піраміда Мікери, є максимально наближеним до числового значення золотого січення $= 1,618\dots$

Співвідношення сторін великої піраміди Хеопса теж прийняті згідно таких пропорцій. Розміри піраміди визначені різними експедиціями з точністю до десятих метра. Висота – 146,515 м, довжина основи – 230,363 м, гіпотенуза – 186,36, половина основи – $230,363 \div 2 = 115,182$ м, поділ гіпотенузи на половину основи $= 186,369 \div 115,182 = 1,61804$. Це значення відрізняється від золотого перетину (1,61803) лише на одну одиницю в п'ятому знаку після коми.

Сучасні дослідники на основі попередніх досліджень розташування пірамід та за допомогою сучасного програмного забезпечення [10] визначили, що топографія пірамід Гізи теж відповідає золотому перетину (рис.2)

Розташування великих пірамід, їх центрів, габаритів та вершин одна відносно одної ілюструє застосування кількох основних концепцій золотого перетину (рис.3) Цей випадок засвідчує ще одну унікальну особливість золотого перетину. При використанні його у проектуванні будівель та споруд виникає низка взаємозв'язків, які пов'язують різні ієрархічні рівні споруди (як взаємозв'язок інтер'єру з екстер'єром та генеральним планом), на основі на золотого перетину.

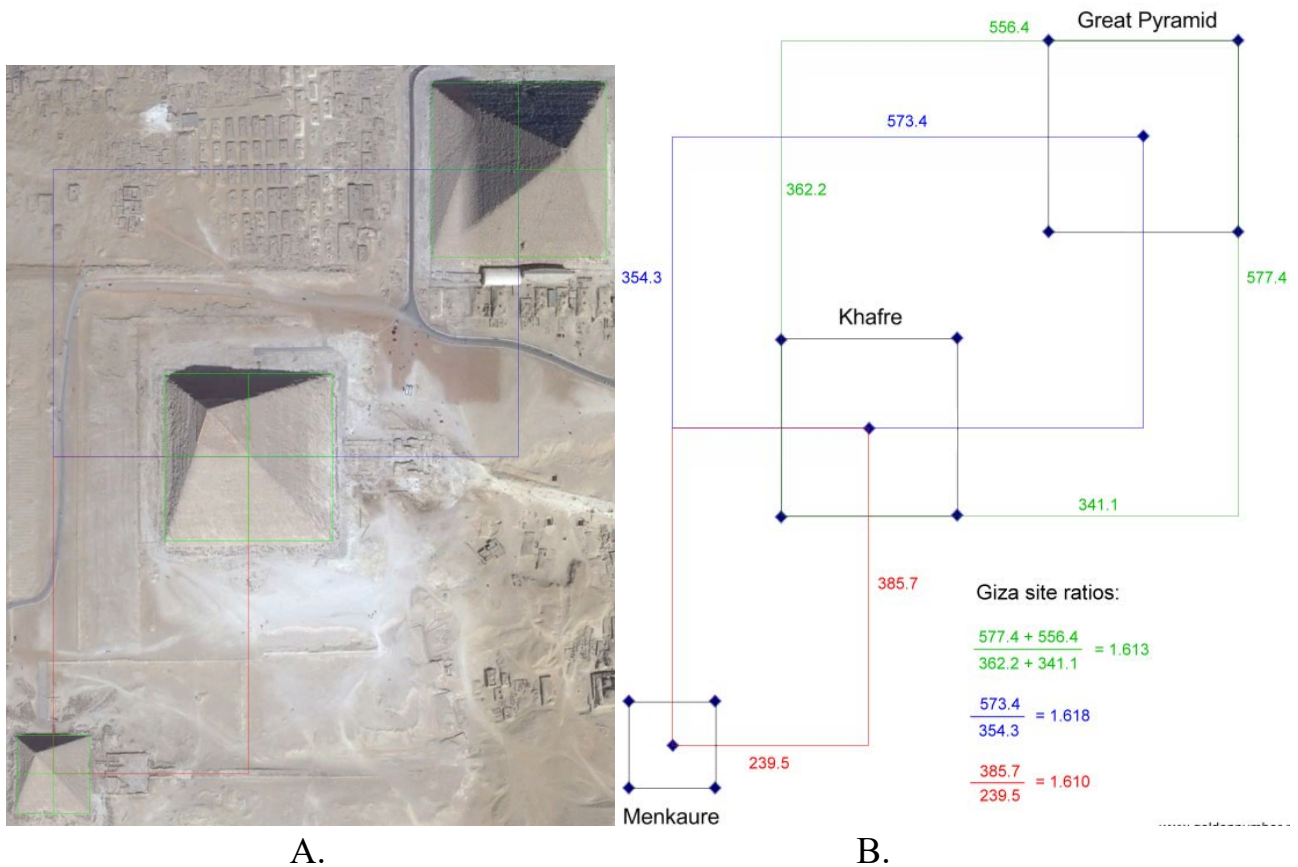


Рис. 2. Золотий перетин в топографії Гізи. А – аерофотозйомка трьох великих пірамід Гізи з накладенням ліній, що відображають золотий перетин. В – Графічне зображення пірамід та ліній, що відображають золотий перетин.

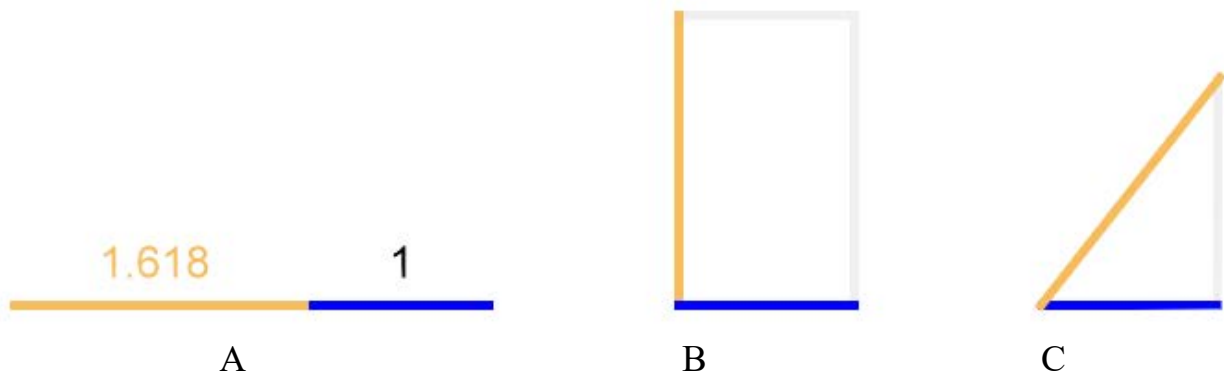


Рис. 3. А – основи пірамід Хеопса та Хефрена, В – вершини пірамід Хефрена та Мікерина, С – трикутник піраміди Хеопса

Незважаючи на те, що досі точаться дискусії на тему, як саме древні Єгиптяни зводили ці колосальні споруди, беззаперечним залишається факт, що в основі ідеї було закладено певну «сакральну геометрію». Як було зазначено на початку, архетипом пірамід є трикутник. Розглядаючи цю геометричну фігуру крізь призму семіотики бачимо, що вона є певним знаком з колосальним смисловим навантаженням. Окрім унікальних структурних властивостей –

стійкості та жорсткості трикутник символізує силу, статичність та прагнення до божественного, низ – основа землі а вершина шлях до небес.

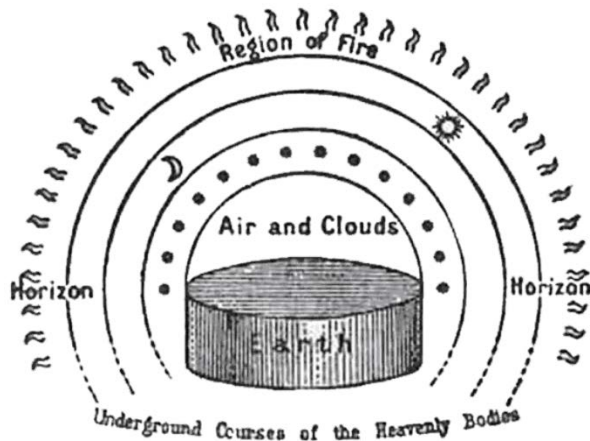
Факти наведені вище, свідчать, що геометричні принципи активно використовувались древніми Єгиптянами у формуванні та організації середовища та створенні архітектурних форм. Інструменти створення візуальної гармонії та естетики які базуються на знаннях геометрії. Пропорціонування, зокрема використання золотого перетину та співвідношення цілих чисел визначали форму і розташування в просторі практично кожної художньої та структурної форми. Отже, геометричні принципи відігравали важливу роль у організації монументальних комплексів, зокрема комплексу в Гізі.

Античність. У основі уявлень філософів античності про Землю, територію та простір прослідковується бажання зрозуміти її геометричні характеристики – форму, величину, структуру та межі. Тобто моделювання всесвіту та його складових за допомогою геометрії робило світ більш зрозумілим та впорядкованим. Слід відзначити що саме в елліністичні часи в геометрії відбувається абстаргування від властивостей тіл, крім взаємного положення і величини та з'являється доведення. Тобто геометрія «відривається» від практичного землемірства Єгиптян та стає більш теоретичною. Спадок знань древнього Єгипту став міцним фундаментом для розвитку геометрії та будівництва у античні часи.

Прагнення зрозуміти геометрію простору засвідчують праці багатьох філософів того часу. Леонардіс Р. виокремлює три рівні розвитку та використання геометрії греками [7]. На першому етапі (у першій половині VI ст. до н. е.) греки використовували геометрію для побудови геометричних моделей які відображали їх космологічні концепції. Фалес Мілетський припускав, що Земля це диск, який плаває у величезному океані, укладений у сферу, що містить усі зірки. Ще один представник Мілетської школи натурфілософії Анаксимандр стверджував, що Земля – циліндр, у центрі світу висота якого становить $1/3$ діаметра (рис. 4). Космологічна теорія Платона говорить про те, що будь-яка матерія складається з геометричних тіл (рис 5).

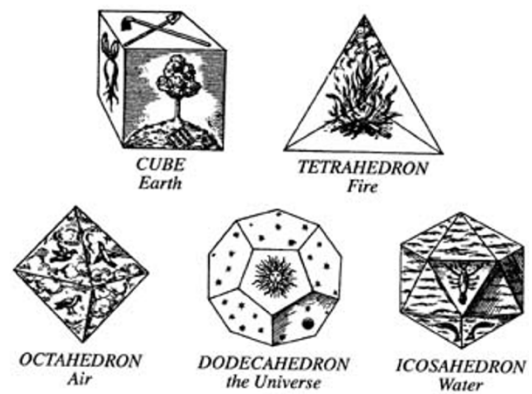
Другий етап розвитку геометрії (III ст. до н.е.) відбувався у елліністичній Александрії, де жив та творив видатний математик Евклід, автор перших теоретичних трактатів з математики та геометрії, які і сьогодні залишаються зразком аксіоматичного методу.

Третій етап припадає на період пізнього еллінізму ,коли Архімед з Сіракуз та Апполоній з Перги вносили свій вклад у розвиток геометрії. Також зростали знання у сфері механіки та інженерії, що засвідчує видатна праця римського інженера Вітрувія.



А

Рис. 4. Форма Землі за Анаксимандром,



В

Рис. 5. «Платонівські тіла» з яких складалась будь-яка матерія

Греки активно застосовували геометрію в будівництві і від неї залежали усі етапи проектування. Спершу визначалась та фіксувалась «пляма» храму – крєпідіома. Ширину визначали кількість та розташування культових об'єктів, і уже відносно отриманого розміру розраховували довжину. за допомогою формули, яка допомагає подвоїти площу квадрата (рис. 6) та золотого січення (рис.7). Ця формула була зафіксована ще на глиняних табличках Вавилонян, а через декілька століть описана Платоном та Вітрувієм.

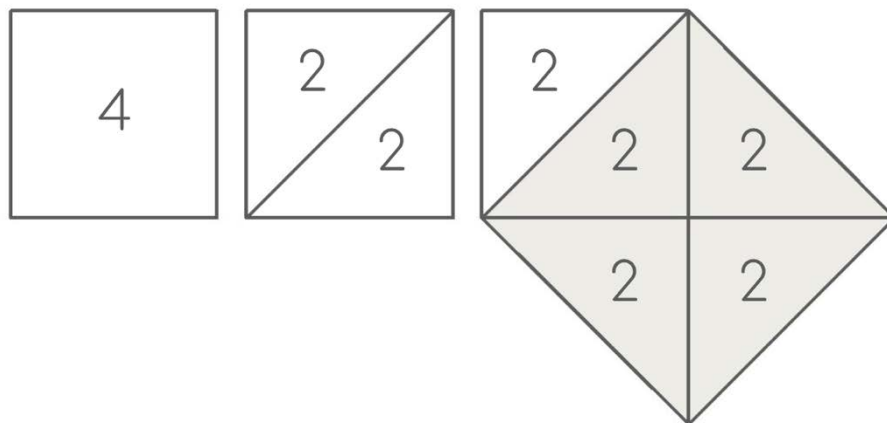


Рис. 6. Формула подвоєння квадрату

Після визначення ширини та довжини храму, застосовуючи ті ж інструменти визначалась висота храму та структура, і тільки після цього – інші архітектурні деталі. Користуючись знаннями у галузі геометрії, греки перетворили проектування храму у геометричну формулу, яка була вирішальною у створенні «божественних» пропорцій античних храмів, та створити канон краси, яким надихались усі майбутні покоління.



Рис. 7. Парфенон та золоте січення

Різноманітні формули, правила та закономірності проектування викладені у трактаті про архітектуру тих часів – «Десять книг про архітектуру» римського інженера Марка Вітрувія Полліона. Незважаючи на те, що вплив Вітрувія на античність був дуже обмеженим, його трактат відіграв важливу роль у працях діячів епохи Відродження. Цей трактат, узагальнений Клодом Перро у XVII ст. до так званої «Вітрувіанської тріади», вказував яким критеріям повинна відповідати архітектура: *firmitas* (міцність), *utilitas* (функція, призначення) та *venustas* (краса).

Більшість тез у творі не є придумані автором, чи римськими архітекторами, це швидше підсумок знань людства, зокрема грецьких мислителів, у сфері архітектури, геометрії мистецтва та технологій. Тут можна зустріти ті ж самі інструменти якими користувались давні єгиптяни та греки – золоте січення, формула збільшення площі квадрата та інші. Яскравим прикладом цього є те, як Вітрувій рекомендує використовувати діагональ квадрата для пошуку довжини атріума. Важливим є той факт, що у III книзі, де автор розглядає проектування храмів часто звертається до пропорцій людського тіла, як певного канону. У трактаті зазначалось, що будівлі, особливо храми, повинні бути складені так само, як природа складає тіла красивих людей [14]. Усім відоме зображення «Вітрувіанської людини» Леонардо да Вінчі описане саме в десятикнижжі. Аналізуючи ідеальне людське тіло, вписане одночасно в коло і квадрат, можна звернути увагу на його символізм, що втілює єдність земного і божественного.

Вітрувій акцентує увагу також на симетричних співвідношеннях, говорячи про співвідношення пропорцій, а не дзеркальну симетрію. Така система використовує повторення кількох ключових пропорцій, щоб забезпечити

гармонію та єдність. У Вітрувія симетрія є естетичним і космічним началом, через яке художній твір пронизується космічною гармонією і бере участь у ній [6]. Це закони всесвіту яким підпорядковується природа і повинна підпорядковуватись архітектура. Співвідношення різних частин одна до одної, їх правильний порядок та структура створюють певну гармонійну систему яка працює як на прикладі людського тіла так і на прикладі всесвіту, яку можна проектувати на архітектуру та середовище. Концепція Вітрувія накладається і на організацію просторів міст. Він розглядав місто в контексті навколишніх умов, які слід враховувати. Це місцевість, рельєф, орієнтація згідно сторін світу, ключовим у морфології нового міста лежала його відповідність розі вітрів. Згідно тексту, для вдалого розташування потрібно було врахувати 8 вітрів що диктувало восьмикутну форму міста (рис.8). На основі геометричного поділу ділянки він виділяє певну ієрархію чинників які покращать планування міста. Врахування вітрів у плануванні сітки вулиць (які розташовувались між вершинами восьмикутника) забезпечує захист від сильних вітрів сприяє комфортному та безпечному проживанні мешканців (рис. 9). Наступним етапом було зонування та парцеляція території, спершу виділялось місце для громадських зон, сакральних споруд та форуму як центральної частини, а також порту та їх взаємозв'язки. На рівній відстані від центру розташовувалась приватна забудова.

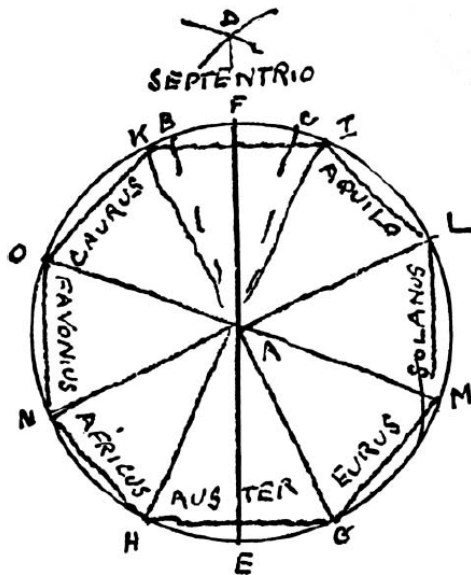


Рис. 8. Восьмигранна роза вітрів Вітрувія

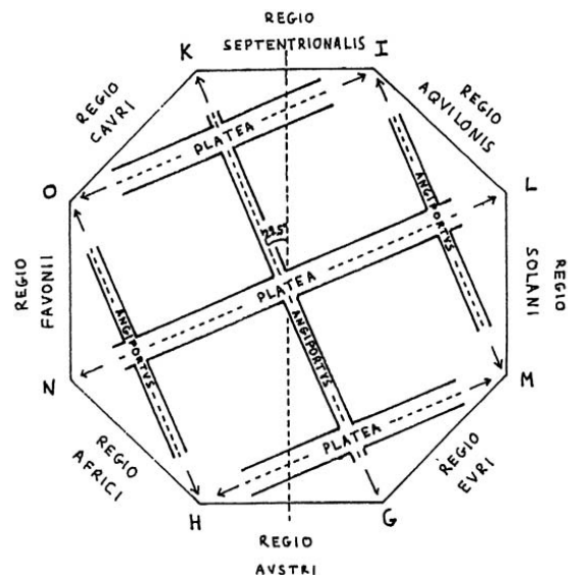


Рис. 9. Модель розпланування головних вулиць згідно моделі Вітрувія

Базуючись у своїх книгах на знаннях греків, Вітрувій в певній мірі посилається на радіальну модель міста створену Платоном [12]. Не зважаючи на те, що у греків ніколи не було новостворених міст радіального плану, така модель відображала устрій тогочасного суспільства. У греків такий радіальний

план забезпечував однакову відстань усіх громадян від агори, що символізувало рівність політичних прав. У свою чергу форум відрізнявся від агори тим, що у ньому додавалась ще й мілітарна функція [14], це відображало різницю систем цінностей у греків та римлян. Ця модель міста набула великої популярності в епоху Відродження і надихнула архітекторів на створення так званих «ідеальних міст». Модель Вітрувія була більш теоретичною аніж практичною. На практиці, найчастіше зустрічались міста розплановані наближено до Гіпподамової сітки. Розпланування Гіпподама певною мірою відображало геометричну модель римського міста [6] (213ст) Спершу, визначали дві перпендикулярні осі: the decumanus (схід-захід) та the cardo (північ-південь) на перетині яких утворювався центр міста. Осі ділили простір на чотири квадрати, утворюючи чотири зони кожна з яких мала свою назву. Після того трасувались вулиці, паралельні обом осям, і кожна ділянка що утворювалась, позначалась відповідно до квадрата, в якому вона розташована (рис. 10).

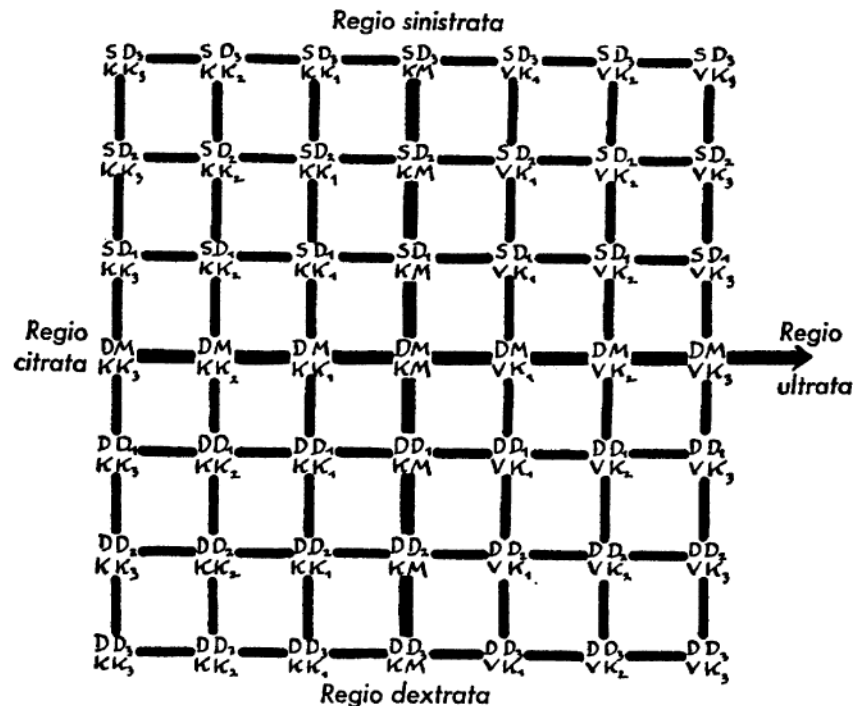


Рис. 10. Шаблон геометричної системи римських землемірів для трасування вуличної мережі та кварталів поселення (за Мюллером 1961)

Даною геометричною системою розпланування користувалось більшість римських геодезистів, вона була певним шаблоном. В певній мірі, теоретична восьмикутна модель Вітрувія накладається на типове, регулярне, містопланувальне рішення яке було звичним для Римської імперії. Геометрія такої моделі теж була наповнена символізмом та сакральним змістом. У випадку з чотирма осями, можна провести паралелі з чотирма елементами (вогонь, вода, земля, повітря), з яких, на думку Вітрувія та греків, утворюється

все живе, зокрема людина. У своїй праці, Вітрувій вважає, що як людина так і місце містять ці чотири елементи, і саме правильна їх пропорція (концентрація) забезпечує здоров'я та рівновагу.

Отже, у єдиній збереженій античній роботі про архітектуру та містобудування чітко відображений зв'язок між геометрією, божественним порядком та архітектурною організацією простору. Природа всіх речей уособлює певну геометричну модель яка забезпечує міцність функцію та красу архітектури та містобудування.

Середньовіччя. У Середньовіччі поняття простору було надзвичайно важливе, тоді коли для людини сьогодення вирішальним є час. Сприйняття простору в Середні віки відбувалось за принципом звідане – незвідане. Звідане було чітко зонованим, зрозумілим та безпечним, незвідане - зловіщим та небезпечним, а простір сприймався з позицій «святе – грішне» (рис. 11).



Рис. 11. Модель сприйняття простору у часи Середньовіччя

Центром святості на землі було місто Єрусалим. Зазвичай воно зображувалось в центрі географічних карт тієї доби. Найчастіше зображення світу ми можемо зустріти у *Mappe mundi* (в перекладі з латині означає «атлас» або «аркуш світу») - тогочасних картах виконаних в традиціях європейської картографії. Зазвичай світ зображувався у формі кола, яке є символом нескінченності та досконалості. Ці карти відображають певну геометричну модель бачення світу у часи Середньовіччя [5].

Ця модель також знаходить відображення у плануванні тогочасних міст, які зазвичай були оточені міцним муром (межа безпечного) а також мали чітку структуру та різні функціональні зони, у кожній з яких діяв свій порядок. Архиважливою частиною середньовічного міста був храм. У часи Середньовіччя, архітектори активно користувались напрацюваннями попередників у галузі геометрії. Це яскраво проявляється в готичній архітектурі. Геометрія була інструментом, який використовувався для структурування ідей та створення естетики і особливо, для включення в цей твір системи символів. Це логіка будівлі, яка мала більше значення, ніж

досягнення краси або дотримання правильних канонічних моделей, як це стало в епоху Відродження. Враховуючи геоцентричність тогочасного світу, архітектори, особливо у проектуванні сакральних споруд прагнули відобразити релігійні та філософські категорії на рівні форми. Неймовірні монументальні будівлі створювались, перш за все, для споглядання Богом, а не людиною. Правильна геометрія та симетрія відображала прагнення створити дім Божий за правилами математичної природи створеного ним Всесвіту.

Проектування будівлі часто супроводжувалось поєднанням кола (божественного) та квадрату (людського). Найвидатніші геометричні візерунки, створені згідно з постулатами Евкліда розвиваються з квадрата в колі, (*ad quadratum*) і трикутника у колі (*ad triangulum*) і саме їх активно застосовували у готичній архітектурі. Також в готичній архітектурі знайшли відображення ірраціональні числа, виражені у геометричних фігурах (рис. 12) Прикладом цього є $\sqrt{2}$, створений діагоналлю квадрата. На відміну від будівель античності (наприклад рис. 7 – Парфенон) ,де легко розпізнати золоте січення, у готичних соборах більшість «божественних» ліній та співвідношень були тільки допоміжними та ховались від погляду звичайного парафіянина. Окрім золотого січення у готичній архітектурі активно застосовуються геометрична прогресія та пропорції людського тіла [9]

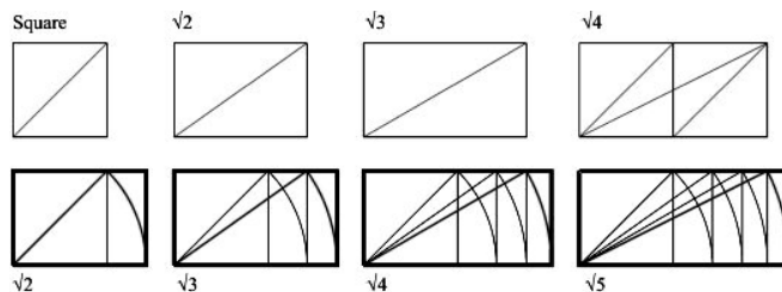


Рис. 12. геометрія пропорційних коренів на основі кола та квадрата за Н. Рамзі [11]

Згідно твердження дослідниці Н. Рамзі, у готичній архітектурі заховані прийоми не лише Евклідової геометрії, а й фрактальної [11]. Важливим пунктом на шляху до розуміння фрактальної геометрії у готичній архітектурі є модуль, який часто застосовували архітектори як базовий організаційний елемент. Обраний модуль може змінювати свій масштаб та певною мірою трансформуватись і повторювались у різних елементах будівлі. Такий модуль став відображенням фракталу у готичній архітектурі. Цей термін запровадив Б. Мандельброт і у найбільш загальному значенні фрактал це структура, що складається з частин, які в певному сенсі подібні до цілого. У архітектурі готичних споруд основний образ будівлі насичений каскадом менших копій [4] (рис13).

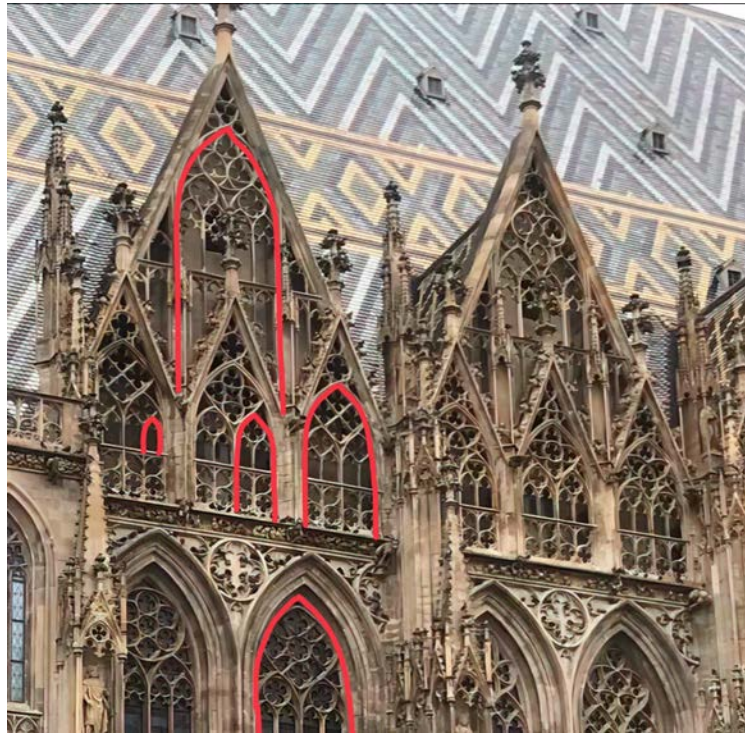


Рис. 13, Каскад копій на фасаді собору Святого Стефана у Відні, Австрія.

Висновок

У всі часи людство прагнуло збагнути закони геометрії та «божественний» порядок який вона відображає. Як і у Платонівському діалозі «Мено» так і у формулах Бенуа Мандельброта прослідковується прагнення осмислити красу природи виявивши її «геометричний код».

Аналізуючи відображення геометрії в архітектурі на протязі окресленого періоду, можна відзначити їх тісний взаємозв'язок. Ключовим чинником формування архітектурних рішень проаналізованих об'єктів було гармонійне застосування геометричних інструментів, а саме: відповідних *пропорцій, масштабу, величини(розміру) структури та меж*. Важливим геометричним прийомом було *використання модуля* – елементу чи пропорції яка повторюється, у різних елементах будівлі.

Залучення геометрії для впорядкування простору допомагало архітекторам досягнути гармонії та естетики, закладати в свої твори глибокі та сакральні сенси, відображати філософські погляди. Окрім візуальної складової геометрія була і залишається інструментом для створення раціонального та ефективного простору.

Бібліографічний список:

1. Габрель М.М. Геометричні задачі в урбаністиці. 2021. Т. 1, № 161. С. 58–68. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/60142/1/5713-Текст%20статті-12102-2-10-20210805.pdf>.

2. Bellone T., Fiermonte F., Mussio L. The common evolution of geometry and architecture from a geodetic point of view. *ISPRS - international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. 2017. XLII-5/W1. P. 623–630. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-5-w1-623-2017>.
3. De Risi V. Introduction. *Mathematizing space*. Cham, 2015. P. 1–13. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-12102-4_1.
4. Goldberger A. Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biologic basis of creativity - PubMed. *PubMed*. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9118332/> (date of access: 29.10.2024).
5. Kohl H., Dinzelbacher P. Rezension von: Dinzelbacher, Peter (Hrsg.), Europäische Mentalitätsgeschichte. *Württembergisch Franken*. 2023. Vol. 79. P. 511–512. URL: <https://doi.org/10.53458/wfr.v79i.7305>.
6. Lagopoulos A.P. The semiotics of the Vitruvian city. *Semiotica*. 2009. Vol. 2009, no. 175. URL: <https://doi.org/10.1515/semi.2009.047>.
7. Leonardis R. The use of geometry by ancient greek architects. *A companion to greek architecture*. Hoboken, NJ, USA, 2016. P. 92–104. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118327586.ch7>.
8. Maslikova I.I. Polyfunctionality and cultural value of public space: historical and cultural study of an urban square. *Ukrainian cultural studies*. 2019. No. 2 (5). P. 88–92. URL: [https://doi.org/10.17721/ucs.2019.2\(5\).16](https://doi.org/10.17721/ucs.2019.2(5).16).
9. McMahon A.P., Fletcher B. A history of architecture on the comparative method. *Parnassus*. 1938. Vol. 10, no. 5. P. 31. URL: <https://doi.org/10.2307/771691>.
10. Meisner G. Golden ratios in Great Pyramid of Giza site topography. *The Golden Ratio: Phi, 1.618*. URL: <https://www.goldennumber.net/great-pyramid-giza-complex-golden-ratio/>.
11. Ramzy N.S. The dual language of geometry in gothic architecture: the symbolic message of euclidian geometry versus the visual dialogue of fractal geometry. *Digital Kenyon: Research, Scholarship, and Creative Exchange*. URL: <https://digital.kenyon.edu/perejournal/vol5/iss2/7/>.
12. S L., A F. In search of the perfect form: the geometry of the city in the treatises by plato, t. more, t. campanella. *Architectural studies*. 2019. Vol. 5, no. 1. P. 35–44. URL: <https://doi.org/10.23939/as2019.01.035>.
13. Viollet-le-Duc E.-E. Lectures on architecture. London : Sampson Low, Marston, Searle and Rivington, 1877.
14. Vitruvius. Ten books on architecture. BiblioLife, 2009. 412 p.
15. Waerden B.L. v. d. Science awakening. New York : Science Editions, 1963. 306 p.

Uliana-Magdalya Khomenko,
Lviv Polytechnic National University

THE PHENOMENON OF GEOMETRY IN THE HISTORY OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

The article examines the concept of geometry as an indispensable component of the built environment. It analyzes the extent to which geometry has influenced the development of architecture and urban planning throughout different historical periods, starting from Ancient Egypt. The study identifies key geometric principles, which have shaped architectural forms across human history.

The research also delves into the role of geometric characteristics in architectural design, both in terms of aesthetics and function. The article discusses how geometry has been applied not only to define the visual aspects of buildings but also to optimize spatial organization, enhancing the practical and spiritual dimensions of architectural objects. Special attention is given to the application of modular systems and proportional relationships, which were crucial in shaping not only individual architectural elements but also the overall structure of urban environments, ensuring spatial coherence and functionality.

The article highlights the enduring importance of geometry in architectural theory and practice, demonstrating its role in achieving balance, functionality, and symbolic meaning in various architectural styles throughout history. Geometry is not merely a technical tool for form-making but a foundational principle that guides the visual and structural composition of architectural works. The study also emphasizes the use of geometric proportions and patterns to create buildings that resonate with cultural and philosophical ideals. Through the analysis of historical applications, the article illustrates how geometry plays a vital role in shaping architectural environments.

Keywords: architectural geometry; proportions; form-making; sacred buildings; symmetry; modularity; fractal geometry.

REFERENCES

1. Habrel M.M. Heometrychni zadachi v urbanistytsi. 2021. T. 1, № 161. S. 58–68. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/60142/1/5713-Текст%20статті-12102-2-10-20210805.pdf>. {in Ukrainian}
2. Bellone T., Fiermonte F., Mussio L. The common evolution of geometry and architecture from a geodetic point of view. *ISPRS - international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. 2017. XLII-5/W1.

- P. 623–630. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-5-w1-623-2017>. {in English}
3. De Risi V. Introduction. *Mathematizing space*. Cham, 2015. P. 1–13. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-12102-4_1. {in English}
 4. Goldberger A. Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biologic basis of creativity - PubMed. *PubMed*. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9118332/> (date of access: 29.10.2024). {in English}
 5. Kohl H., Dinzelbacher P. Rezension von: Dinzelbacher, Peter (Hrsg.), Europäische Mentalitätsgeschichte. *Württembergisch Franken*. 2023. Vol. 79. URL: <https://doi.org/10.53458/wfr.v79i.7305>. {in German}
 6. Lagopoulos A.P. The semiotics of the Vitruvian city. *Semiotica*. 2009. Vol. 2009, no. 175. URL: <https://doi.org/10.1515/semi.2009.047>. {in English}
 7. Leonardis R. The use of geometry by ancient greek architects. *A companion to greek architecture*. Hoboken, NJ, USA, 2016. P. 92–104. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118327586.ch7>. {in English}
 8. Maslikova I.I. Polyfunctionality and cultural value of public space: historical and cultural study of an urban square. *Ukrainian cultural studies*. 2019. № 2 (5). S. 88–92. URL: [https://doi.org/10.17721/ucs.2019.2\(5\).16](https://doi.org/10.17721/ucs.2019.2(5).16). {in English}
 9. McMahan A.P., Fletcher B. A history of architecture on the comparative method. *Parnassus*. 1938. Vol. 10, no. 5. P. 31. URL: <https://doi.org/10.2307/771691>. {in English}
 10. Meisner G. Golden ratios in Great Pyramid of Giza site topography. *The Golden Ratio: Phi, 1.618*. URL: <https://www.goldennumber.net/great-pyramid-giza-complex-golden-ratio/>. {in English}
 11. Ramzy N. S. The dual language of geometry in gothic architecture: the symbolic message of euclidian geometry versus the visual dialogue of fractal geometry. *Digital Kenyon: Research, Scholarship, and Creative Exchange*. URL: <https://digital.kenyon.edu/perejournal/vol5/iss2/7/>. {in English}
 12. S L., A F. In search of the perfect form: the geometry of the city in the treatises by plato, t. more, t. campanella. *Architectural studies*. 2019. Vol. 5, no. 1. P. 35–44. URL: <https://doi.org/10.23939/as2019.01.035>. {in English}
 13. Viollet-le-Duc E.-E. Lectures on architecture. London : Sampson Low, Marston, Searle and Rivington, 1877. {in English}
 14. Vitruvius. Ten books on architecture. BiblioLife, 2009. 412 p. {in English}
 15. Waerden B.L. v. d. Science awakening. New York : Science Editions, 1963. 306 p. {in English}