**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Національний технічний університет
ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
1899

**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

*Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну*

# Методичні вказівки

до практичних робіт студентів
з дисципліни **«Технічна біоніка»,**

що навчаються за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**м. Дніпро**
**2019**

Мацюк І.М. Методичні вказівки до практичних робіт студентів за дисципліною «Технічна біоніка», що навчаються за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов – Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 18 с.

Затверджено до видання редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 9 від 05.09.2019) за поданням кафедри ОКММ (протокол № 1 від 28.08.2019).

Представлені методичні вказівки до практичних робіт студентів за дисципліною «Технічна біоніка», що навчаються за спеціалізацією «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство».

Практичні роботи допоможуть студентам краще зрозуміти, як людина використовує досконалі конструктивні системи об'єктів живої природи у створенні різноманітних технічних об'єктів.

**Зміст**

## Передмова

Технічна біоніка (біоміметика, біомімікрія) – прикладна наука про застосування в технічних пристроях і системах принципів організації, властивостей, функцій і структур живої природи.

Для біоніки джерелом натхнення є сама природа, яка настільки мудра, що сама придумала величезну безліч ідеальних форм і конструкцій.

Створені природою форми, перевірені тисячоліттями еволюції, прекрасно виконують закладені в них функції.

Біоніка використовує властивості, закладені в структурі і організації тварин і рослин, для застосування їх в інженерній справі. При цьому виникає можливість нового підходу до конструювання різних систем. Для дизайнера це безмежна кількість варіантів конструктивних рішень для втілення своїх ідей.

Ці методичні вказівки мають за мету допомогти студенту більш поглиблено розібратися із геніальними створеннями природи і тим самим пробудити в ньому жвавий інтерес до вивчення світу, в якому він існує, щоб використовувати це у своїй майбутній роботі.

Навчальним планом курсу «Технічна біоніка» передбачено п’ять практичних робіт, в яких студенти спробують осягнути дивовижну досконалість павутиння, бджолиних стільників, золотого числа, а також оцінити витонченість конструкції Ейфелевої вежі.

## Практична робота №1

**Тема роботи**: Бджолині стільники – найдосконаліші будівлі комах.

Бджолині стільники – воскові будівлі бджіл, призначені для зберігання запасів корму (меду та перги) і вирощування потомства; також – гніздо бджолиної сім'ї. Бджолині стільники складаються з шестигранних призматичних чашечок, що розташовані по обидва боки від загальної середньої стінки.

Бджолині стільники є по праву дивом природи. Бджолині житла – одні з найдосконаліших будівель в світі ентомології. Всі відсіки з'єднані без зазорів. На виконання витрачається однакова кількість воску, який "будівельники" самі виробляють. Стільники відрізняються унікальною геометрією. Осередки виконані у формі шестикутника, денце складено з трьох ромбів. Кожен відсік схожий на витягнуту призму. Така конструкція забезпечує щільне зчеплення.

Припустимо, що нам необхідно замостити певну плоску поверхню плиткою. Якої форми повинна бути ця плитка? Як правило, ця плитка має форму прямокутника, причому найчастіше вона квадратна.

Чи існують ще правильні багатокутники, які можна використовувати для цієї мети?

У правильному багатокутнику кут між двома сторонами дорівнює

$$\alpha = 180 - \frac{360}{n},$$

де $n$ – число сторін багатокутника.

Щоб декілька (k) багатокутників примикали до однієї вершині повинна виконуватися умова

$$k(180 - \frac{360}{n}) = 360.$$

Або, після спрощення,

$$k = \frac{2n}{n-2} \quad n \in N.$$

З отриманого виразу видно, що найпростішим правильним багатокутником є трикутник ($n = 3$). Потім цій умові відповідає квадрат і шестикутник (Рис. 1). Більше варіантів немає.

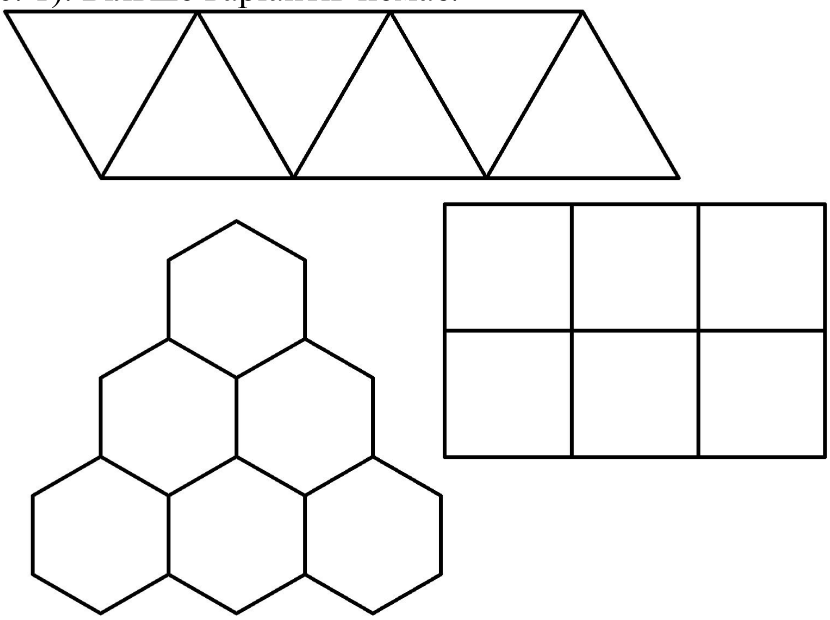


Рис. 1. Три можливі варіанти замощення площі плиткою

З цих можливих трьох варіантів найменший периметр при заданій площі має правильний шестикутник. Тому цю форму і вважала за краще природа, наділивши бджіл відповідною здатністю будувати свої стільники, витрачаючи на них мінімальну кількість воску.

**Послідовність роботи:**

1. Порівняння периметрів трикутника, квадрата та шестикутника.

Студент отримує від викладача значення конкретної площі (10, 15, 20 і т.п. кв.см.), для якої він має порахувати периметри трикутника, квадрата і шестикутника. Переконавшись, що найменший периметр має шестикутник, знаходить відношення цих периметрів, за якими оцінює, який виграш має природа використовуючи саме шестикутники.

При заданій стороні правильного багатокутника відповідні площі

$$S_{\text{òð}} = \frac{\sqrt{3}a^2}{4} \qquad S_{\text{êâ}} = a^2 \qquad S_{\text{ø}} = \frac{3\sqrt{3}a^2}{2}.$$

З цих формул знаходять $a$ і відповідний периметр.

2. Дослідження площі поверхні стільникової чашечки.

Якби стільники розташовувалися в один ряд, то, природно, найменшу загальну поверхню стільник мав би при плоскому дні. Але стільники завжди розташовуються у два ряди таким чином, що денця в них спільні. Тому дно стільника не плоске, а має досить складну форму. Ця складна форма забезпечує мінімальну загальну поверхню стільників.

На Рис. 2 показано, як виглядає об'ємне зображення одного бджолиного стільника.

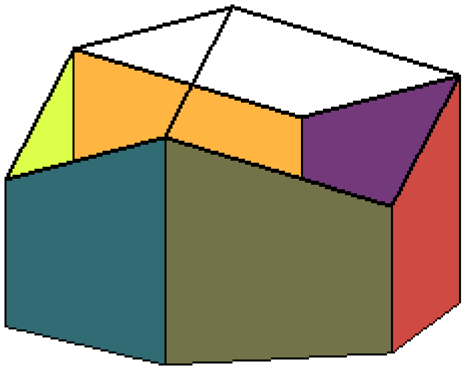


Рис. 2. Вид денця бджолиного стільника

Така форма отримана зі звичайної шестикутної правильної призми (Рис. 3).

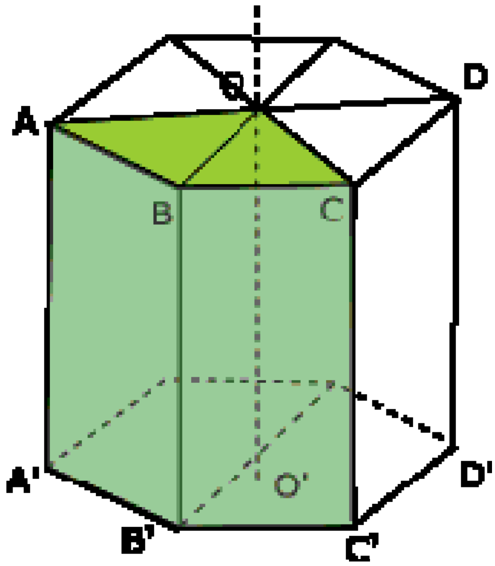



Рис. 3 Шестикутна правильна призма (зеленим кольором виділена її третина)

Якщо ромб AOCB почати обертати навколо відрізка AC, то отримаємо фігуру, як на Рис. 4. У такого стільника дно буде сформовано трьома ромбами. На Рис. 4 показано один з них ASCB'.

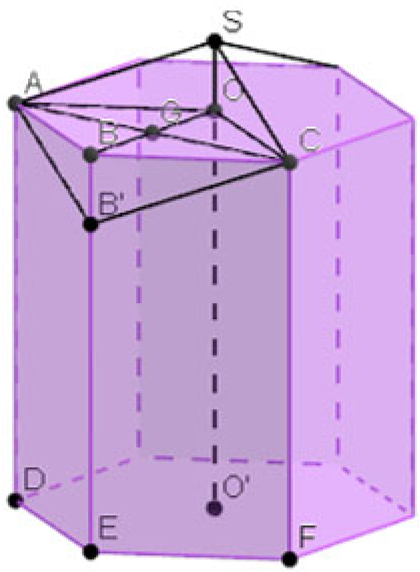



Рис. 4. Обертання ромбу AOCB навколо прямої AC

Виявляється, що природа, таким чином, отримує мінімальну загальну поверхню стільників і, як слідство, бджоли витрачають мінімум воску на будування стільників.

Завдання: знайти $x$ (відрізок $A_1A_2$) або кут $\alpha$ при заданій стороні $a$ (20, 30, 35, ... мм) і висоті H (50, 60, 65, ... мм) правильної шестикутної призми показаної на Рис. 5, при яких сумарна площа бічних граней $DAB'E$, $B'CFE$ та ромбу $ASCB'$, буде мінімальна.

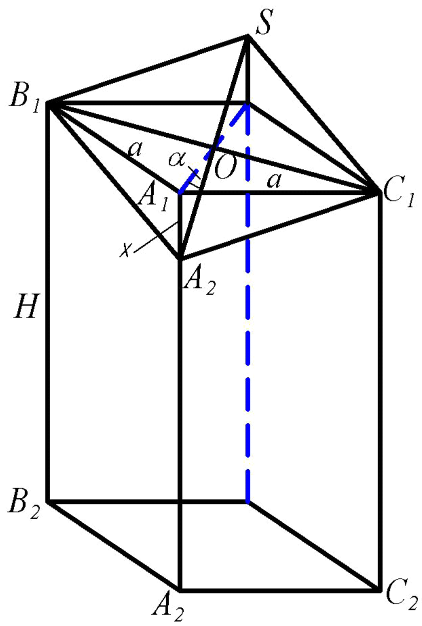



Рис. 5. Розрахункова схема до дослідження заданої сумарної поверхні

Студент самостійно отримує вираз для визначення шуканої площі, як функції $x$ або $\alpha$, а потім знаходить значення аргументу, при якому функція має мінімальну величину. Після цього студент будує 3D-модель розрахункового бджолиного стільника (в будь-якому графічному редакторі) і вимірює площу його зовнішньої поверхні.

## Практична робота №2

**Тема роботи**: Дивовижні властивості павутини

Павуки – одні з найдавніших мешканців нашої планети, що заселили сушу більше 200 мільйонів років тому. У природі налічується близько 35 тисяч видів павуків. Ці восьминогі істоти, що живуть повсюдно, впізнані завжди і всюди, не дивлячись на відмінності в забарвленні і розмірах. Але найголовніша їх відмінна риса – це здатність виробляти павутинний шовк, неперевершене по міцності натуральне волокно. Заворожує погляд геометрична правильність найтонших ниток, які переливаються на сонці.

Павутина – застигла рідина, яку членистоногі витягають з концентрованого білкового розчину, що утворюється в їх особливих павутинних залозах. Одні залози виробляють міцні каркасні нитки, інші – липкі ловчі, а треті – тонкі мотузочки, якими павук обмотує спійманий обід, щоб той не смикався і не заважав йому насолоджуватися процесом їжі.

Вчені заздрять павукам і вже багато років намагаються створити матеріал, який хоча б частково був схожий на павутину. Поки у них нічого не виходить.

Будувати липку ловчу спіраль павук починає з краю і просувається до центру, зберігаючи однакову відстань між витками, і виходить спіраль Архімеда.

Перший вчений який відкрив і вивчив властивості цієї лінії, був великий математик і філософ з древньої Греції, Архімед. Його ім'ям вона і була названа.

Деяка пряма UV (Рис. 6) спочатку збігається з прямою $XX'$. Пряма UV рівномірно обертається відносно точки О. По прямій UV рівномірно переміщається точка М віддаляючись від точки О. В результаті точка М, переміщаючись за вищевказаними правилами, описує лінію – спіраль Архімеда.

При повороті прямої UV з будь-якого положення на деякий кут $\Delta\varphi$ точка М зміщується на відстань $\Delta\rho$. Зсув $MM_1$ відбувається за один оборот прямої UV, і завжди дорівнює одному й тому числу. Це число (*a*) називається кроком спіралі Архімеда.

Полярне рівняння спіралі Архімеда

$$\frac{\rho}{a} = \frac{\varphi}{2\pi}.$$

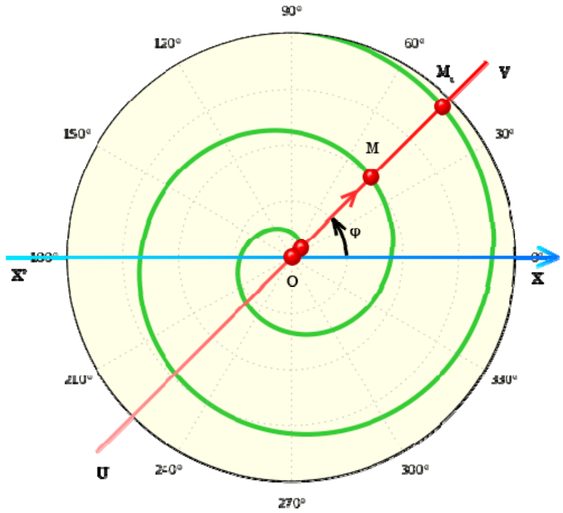



Рис. 6. Принцип утворення спіралі Архімеда

У цьому рівнянні можна перейти від кроку спіралі Архімеда *a* до параметру спіралі Архімеда *k*

$$k = \frac{a}{2\pi}.$$

Тоді рівняння спіралі набуде вигляду

Крок через параметр $\rho = k\varphi$.

Довжину спіралі Архімеда в полярних координатах можна знайти в такий спосіб

$$L = \int_0^{\alpha} \sqrt{\rho'^2 + \rho^2},$$

де $\rho'$ – похідна від $\rho$ по куту $\varphi$.

Наприклад, для визначення довжини першого витка спіралі отримаємо

$$L = \int_0^{2\pi} \sqrt{\rho'^2 + \rho^2}.$$

Спіраль називається правою, якщо утворюється обертанням проти годинникової стрілки і лівою навпаки.

**Послідовність роботи:**

1. Студент отримує конкретне значення кроку спіралі Архімеда (5, 10, 12, 15, 18, 20 мм);
2. Використовуючи формулу спіралі в полярних координатах, визначає значення радіуса-вектора через кожні $30^{\circ}$ для одного витка спіралі;
3. Будує один виток спіралі в будь-якому графічному редакторі і визначає довжину цього витка;
4. Розраховує цю довжину аналітично і порівнює її з отриманою в попередньому пункті;

5. Отримує від викладача завдання (число витків спіралі *n*), визначає довжину цієї спіралі, яку порівнює з сумарною довжиною *n* концентричних кіл.
6. Визначає скільки відсотків павутинного шовку павук економить плетучи павутину по спіралі Архімеда.

## Практична робота №3

**Тема роботи**: Золотий перетин.

Золотий перетин це універсальний прояв структурної гармонії. Він зустрічається в природі, науці, мистецтві – у всьому, з чим може зіткнутися людина.

Найбільш повне визначення золотого перерізу свідчить, що менша частина відноситься до більшої, як більша до всього цілого. Приблизна його величина – 1,6180339887. В заокругленому процентному значенні пропорції частин цілого будуть співвідноситися як 62% на 38%. Це співвідношення діє у формах простору і часу.

Це число (~1,618) називають золотим і позначають грецькою буквою $\varphi$ на честь грецького скульптора Фідія (народився близько 490 року і помер близько 430 до н.е.), який створив фасад Парфенона в Афінах (Рис. 7).

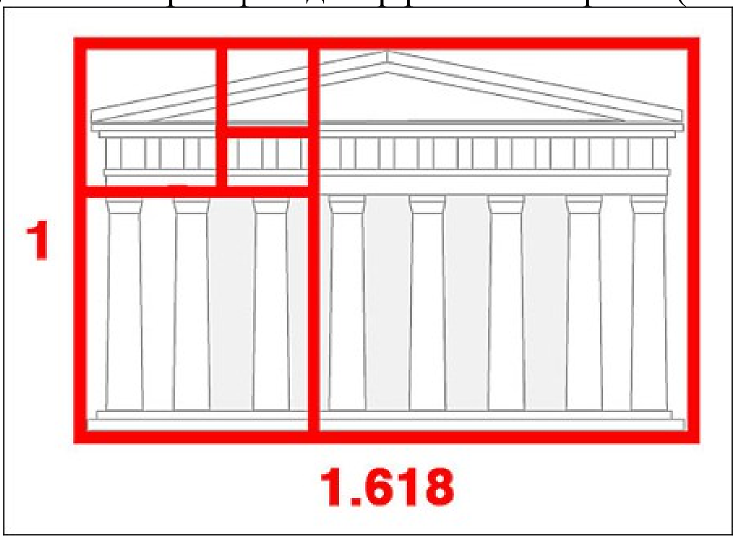



Рис. 7. Фасад Парфенона в Афінах

Парфенон – головний храм Афінського акрополя, присвячений богині Афіні Парфенос, покровительці міста та всієї Аттики; визначна пам'ятка давньогрецького мистецтва (Рис. 8).

Рис. 8. Древньогрецький Парфенон

Сучасна наука розглядає золотий перетин як «асиметричну симетрію», називаючи його в широкому сенсі універсальним правилом, що відображає структуру і порядок нашого світоустрою.

Уявлення про золоті пропорції мали стародавні єгиптяни, знали про них і на Русі, але вперше науково золотий перетин пояснив монах Лука Пачолі у книзі «Божественна пропорція» (1509), ілюстрації до якої ймовірно зробив Леонардо да Вінчі. Пачолі вбачав у золотому перерізі божественну триєдність: малий відрізок уособлював Сина, великий – Батька, а ціле – Святий дух.

Безпосереднім чином з правилом золотого перетину пов'язане ім'я італійського математика Леонардо Фібоначчі. В результаті вирішення одного із завдань вчений вийшов на послідовність чисел, відому тепер як ряд Фібоначчі: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55 і т. д. Існує формула, за якою можна вирахувати член послідовності номер $n$

$$\frac{1}{\sqrt{5}}\left[(\frac{1+\sqrt{5}}{2})^n-(\frac{1-\sqrt{5}}{2})^n\right].$$

На тотожність цієї послідовності до золотої пропорції звернув увагу Кеплер: «вона влаштована так, що два молодших члени цієї нескінченної пропорції в сумі дають третій член, а будь-які два останніх члени, якщо їх скласти, дають наступний член, причому та ж пропорція зберігається до нескінченності». Зараз ряд Фібоначчі – це арифметична основа для розрахунків пропорцій золотого перетину у всіх його проявах.

Леонардо да Вінчі також багато часу присвятив вивченню особливостей золотого перерізу, швидше за все саме йому належить і сам термін. Його малюнки стереометричного тіла, утвореного правильними пятикутниками, доводять, що кожен з отриманих при розтині прямокутників дає співвідношення сторін в золотому перерізі.

Число $\varphi$, зокрема, є позитивним коренем квадратного рівняння

$$x^2-x-1=0.$$

Воно є числом ірраціональним і дорівнює

$$\frac{1+\sqrt{5}}{2}.$$

Воно також може бути виражено безперервним дробом

$$\varphi = 1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1+\ldots}}}}.$$

Властивості. Ступінь числа $\varphi$ виражається, як сума двох ступенів

$$\varphi^2 = \varphi + 1; \quad \varphi^3 = \varphi^2 + \varphi; \quad \varphi^4 = \varphi^3 + \varphi^2. \quad \varphi^n = \varphi^{n-1} + \varphi^{n-2}.$$

Нарешті, $\frac{1}{\varphi} = \varphi - 1$.

Золотим кутом називається кут

$$\frac{360}{\varphi+1}.$$

Або в градусах, хвилинах, секундах 137 ° 30'28 ".

З поняттям золотого числа тісно пов'язане поняття золота спіраль.

Виходячи з принципу послідовності Фібоначчі, ми отримуємо логарифмічна спіраль, коефіцієнт зростання якої дорівнює золотому числу.

Логарифмічна спіраль була вперше описана Декартом і пізніше інтенсивно досліджена Бернуллі, який називав її Spira mirabilis – «дивовижна спіраль».

Декарт шукав криву, що володіє властивістю, подібно властивості кола, так щоб дотична в кожній точці утворювала з радіус-вектором в кожній точці один і той же кут. Він показав, що ця умова рівнозначно тому, що полярні кути для точок кривої пропорційні логарифмам радіус-векторів. Спіральні числа також є числами з послідовності Фібоначчі.

Вони присутні в багатьох рослинах, наприклад, в соняшниках (Рис. 9).

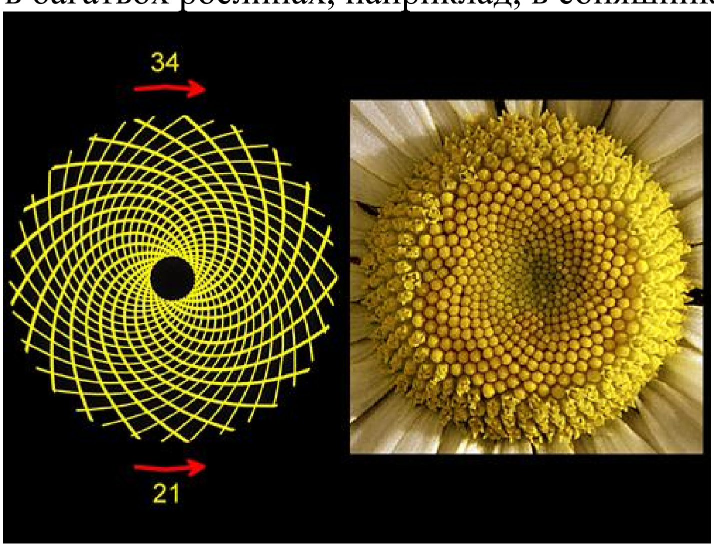
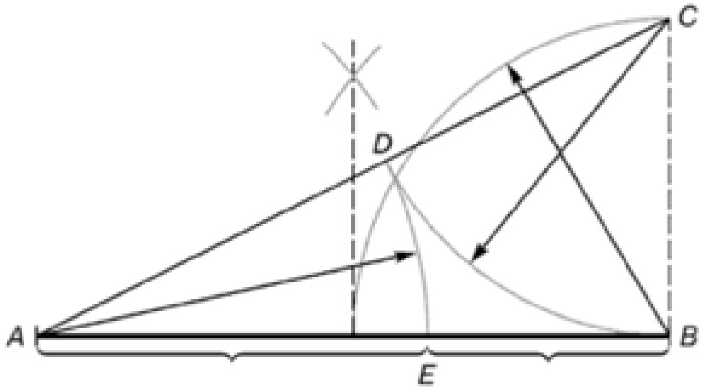



Рис. 9. Логарифмічна спіраль в соняшнику

Таким чином, зростання і організація рослин будуються на математичних принципах, таких як числа Фібоначчі, золоте число і золотий кут




.

Рис. 10. Поділ відрізка прямої по золотому перетину:
BC=0,5AB; CD=BC

**Послідовність роботи:**

1. Студент ділить даний відрізок прямої по золотому перетину, користуючись малюнком 10.
2. Використовуючи формулу

$$\frac{1}{\sqrt{5}}\left[(\frac{1+\sqrt{5}}{2})^n-(\frac{1-\sqrt{5}}{2})^n\right],$$

студент визначає декілька послідовних членів і переконується, що відношення кожного члена до попереднього зі збільшенням номера все більше наближається до $\varphi$.
3. Студент будує довільний правильний п'ятикутник, в якому проводить усі діагоналі, які утворюють зірку. Він переконується, що відношення діагоналі до сторони рівно, як і відношення відрізків, на які діляться діагоналі точками перетину, рівні $\varphi$. Рівнобедрені трикутники, утворені сторонами і діагоналями називають золотими. Кути при основах у них рівні $36^0$ або $72^0$.
4. Студент будує в Маткаді логарифмічну спіраль із заданими викладачем параметрами. Потім робить теж саме (один виток) в будь-якому графічному редакторі (AutoCAD, Компас і т.і.).
5. Після цього студент будує комбінацію квадратів, сторони яких дорівнюють числам Фібоначчі (Рис. 11).

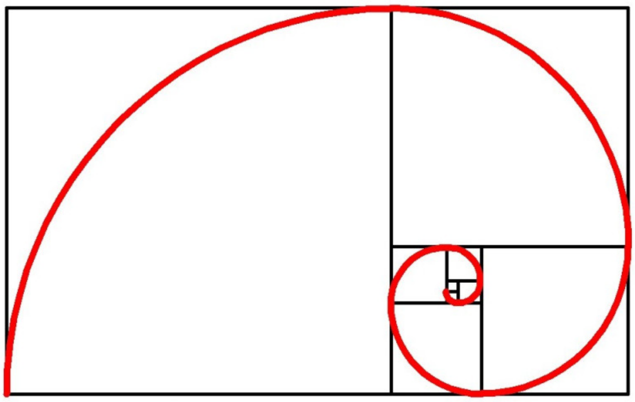


Рис. 11. Побудова логарифмічної спіралі на комбінації квадратів

**Практична робота №4**

**Тема роботи**: Чудо інженерного мистецтва – Ейфелева вежа

Частина 1. Перша стрижнева просторова мачтова структура

Ця вежа (Рис. 12) була зведена в Парижі інженером Г. Ейфелем в представницьких цілях для Всесвітньої виставки 1889 в Парижі.

Рис. 12. Ейфелева вежа у Парижі

Ця конструкція викликала масу суперечок про її корисність, естетичность і виразність. Але, як показав час, Г. Ейфель мав рацію, тепер Ейфелева вежа стала символом міста, і неможливо уявити Париж без цієї будівлі.

Ця споруда вважається одним з найбільш ранніх очевидних прикладів використання біоніки в інженерії.

Конструкція Ейфелевої вежі заснована на науковій роботі швейцарського професора анатомії Хермана фон Мейєра (Hermann Von Meyer). За 40 років до споруди паризького інженерного дива професор досліджував кісткове структуру голівки стегнової кістки в тому місці, де вона згинається і під кутом входить в суглоб. І при цьому кістка чомусь не ламається під вагою тіла. Фон Мейєр виявив, що голівка кістки покрита витонченої мережею мініатюрних кісточок, завдяки яким навантаження дивним чином перерозподіляється по кістці. Ця мережа має чітку геометричну структуру.

Творіння Гюстава Ейфеля і сьогодні залишається прекрасним чудом світу. Копія Ейфелевої вежі є в багатьох мегаполісах: у Копенгагені, Лас-Вегасі, Варні, в китайському місті Гуанчьжоу, і Актау в Казахстані. Копія знаменитої Ейфелевої вежі була встановлена у 2014 році «Київміськбудом» при будівництві київського житлового комплексу «Французький квартал» на вулиці Анрі Барбюса (Рис. 13).

Рис. 13. Копія Ейфелевої вежі у Києві

До появи Ейфелевої вежі в Парижі найвищою конструкцією на планеті вважався монумент Вашингтона в столиці США, а зараз він є найвищою в світі будовою з каменю. Монумент Вашингтона являє собою рівний прямий чотиригранний стовп висотою 169,046 метрів (Рис. 14).

Рис. 14. Монумент Вашингтона

Маса монументу складає 90854 тонни. А маса Ейфелевої вежі (висота разом з антеною становить 324 метри) – 7300 тонн. Різниця мас більш, ніж вражаюча. Г. Ейфель був першим інженером, який показав переваги стрижневих сталевих конструкцій. Понад 40 років Ейфелева вежа була найвищою спорудою у світі.

**Послідовність роботи:**

1. Користуючись даними табл. 1 і будь-яким графічним редактором, студент будує у масштабі профіль Ейфелевої вежі. В результаті він отримує щось подібне малюнку 15.

Розміри Ейфелевої вежі

Таблиця 1

| Панель № | Кут, (град.) | Висота | y м | x м | Панель № | Кут, (град) | Висота | y м | x м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 90 | 11,280 | 0,000 | 5,000 | 14 | 84,107 | 10,600 | 128,076 | 11,786 |
| 28 | 87,209 | 5,833 | 11,280 | 5,000 | 13 | 82,425 | 10,700 | 138,676 | 12,880 |
| 27 | 87,209 | 6,165 | 17,113 | 5,284 | 12 | 82,425 | 11,300 | 149,376 | 14,303 |
| 26 | 87,209 | 6,517 | 23,278 | 5,585 | 11 | 77,131 | 4,900 | 160,676 | 15,806 |
| 25 | 87,209 | 6,888 | 29,795 | 5,903 | 10 | 77,131 | 10,000 | 165,576 | 16,925 |
| 24 | 87,209 | 7,280 | 36,683 | 6,239 | 9 | 76,903 | 10,200 | 175,576 | 19,210 |
| 23 | 87,209 | 7,695 | 43,963 | 6,594 | 8 | 75,809 | 11,000 | 185,776 | 21,583 |
| 22 | 87,209 | 8,133 | 51,658 | 6,969 | 7 | 74,503 | 11,000 | 196,776 | 24,365 |
| 21 | 87,209 | 8,596 | 59,791 | 7,365 | 6 | 72,327 | 11,000 | 207,776 | 27,415 |
| 20 | 87,209 | 9,086 | 68,387 | 7,784 | 5 | 68,358 | 7,000 | 218,776 | 30,919 |
| 19 | 87,209 | 9,603 | 77,473 | 8,227 | 4 | 65,813 | 11,000 | 225,776 | 33,697 |
| 18 | 86,857 | 10,000 | 87,076 | 8,696 | 3 | 65,813 | 11,000 | 236,776 | 38,637 |
| 17 | 85,688 | 10,000 | 97,076 | 9,245 | 2 | 65,813 | 11,000 | 247,776 | 43,578 |
| 16 | 85,688 | 10,500 | 107,076 | 9,999 | 1 | 65,813 | 11,000 | 258,776 | 48,519 |
| 15 | 84,584 | 10,500 | 117,576 | 10,790 | 0 | - | - | 269,776 | 53,459 |

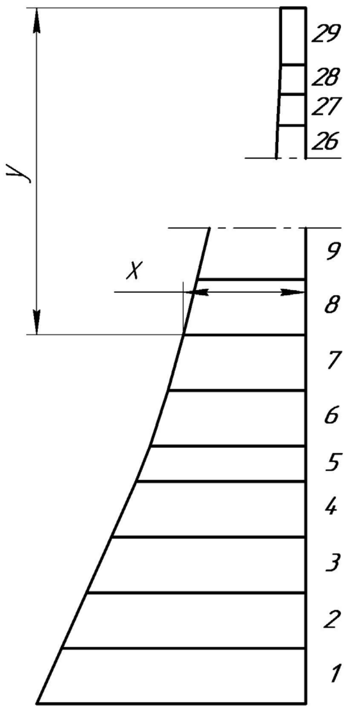



Рис. 15. Профіль Ейфелевої вежі з пронумерованими панелями
(x і y вказані для панелі 7)

2. За даними тієї ж табл. 1 за завданням викладача отримати рівняння кривої, яка описує профіль вежі.
3. В комп'ютерному графічному редакторі побудувати спрощену 3D-модель частини або всієї вежі.

Частина 2. Переваги стрижневих структур

Структурами, або структурними конструкціями, називають просторові стрижневі системи, утворені стрижнями, що з'єднуються у вузлах і розташованими в просторі і строгому геометричному порядку.

Принциповою особливістю структурних конструкцій є їх геометрична будова, подібна кристалічним гратам металу і є типовим прикладом просторової системи. Навантаження, прикладене до будь-якого вузла структури, викликає зусилля, в першу чергу, в прилеглих до вузла просторово розташованих стрижнях.

Застосування стрижневих систем дозволяє добитися потрібного ефекту меншою кількістю металу. На Рис. 16 наведені види плоских стрижневих конструкцій.

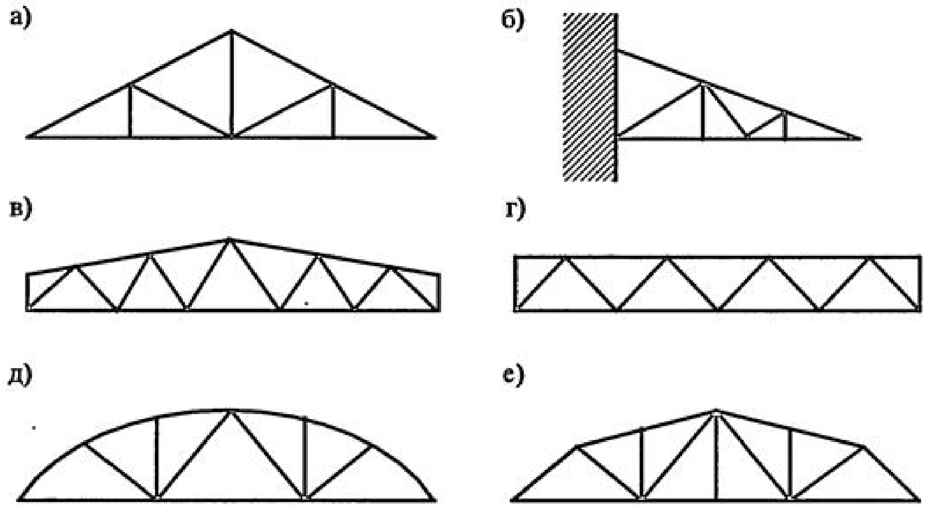



Рис. 16. Плоскі стрижневі конструкції

**Послідовність роботи:**

Для заданих викладачем умов студент порівнює результати розрахунків однопрогонової статично визначеної балки з точки зору металоємності у випадках:

1. Балка прийнята двотавровою;
2. Балка виконана у вигляді плоскої стрижневої конструкції.

Варіанти двохопорних балок для розрахунків наведені на Рис. 17.

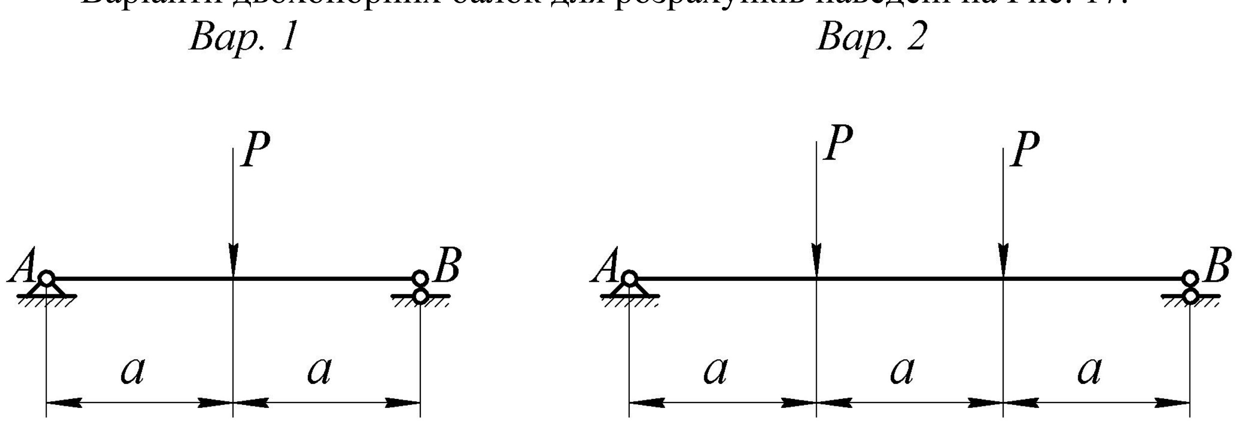



Рис. 17. Варіанти для розрахунків

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ


1. Агнес Гийо, Жан-Аркади Мейе. Бионика. Когда наука имитирует природу. Москва: Техносфера, 2013. – 280 с.