

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження напружено-деформівного стану оболонки
двоякої Гаусової кривизни при дії сейсмічного навантаження

Виконав: студент 6 курсу, групи МБмн-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

	(шифр і назва спеціальності)	
Студент		<u>Олійник Т.Р.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник		<u>Бодрова Л.Г.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		<u>Данильченко С.М.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		<u>Ясній В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент		<u>Чубик В.Ф.</u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Олійнику Тарасу Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження напружено-деформівного стану оболонки
двоякої Гаусової кривизни при дії сейсмічного навантаження

Керівник роботи Бодрова Людмила Гордіївна, к.т.н., професор кафедри будівельної механіки
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «4» квітня 2022 року № 4/7-207

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд літератури за темою досліджень. 2. Математичні моделі оболонки

3. Методика та результати досліджень.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
60-80 аркушів пояснювальної записки формату А4, 20 слайдів презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викладач		
Нормоконтроль	Данильченко С.М. ст. викладач		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд		
2.	Математичні моделі оболонок		
3.	Методика та результати досліджень		
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
5.	Графічне оформлення мультимедійної презентації		

Студент

(підпис)

Олійник Т.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бодрова Л.Г.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Історичний розвиток просторових конструкцій	7
РОЗДІЛ 2. Математичні моделі оболонок.....	10
2.1 Математичні описи основних оболонок двоякої Гауссової кривизни	10
2.2. Формотворчі елементи тентових конструкцій.....	31
2.3 Висновки	35
РОЗДІЛ 3. Методика та проведення розрахунку	37
3.1 Методика розрахунку	37
3.2 Результати розрахунків	38
3.3. Висновки до розділу	50
РОЗДІЛ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	51
4.1 Основні положення щодо охорони праці	51
4.1.2 Інженерні рішення з охорони праці	51
4.1.3 Огородження території.....	53
4.1.4 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику	53
4.1.5 Організація безпечних умов праці земляних робіт	54
4.1.6 Організація безпечних умов праці бетонних робіт	55
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	57
4.2.1 Оцінка стійкості об'єкта будівництва від надзвичайних ситуацій природного характеру.....	57
4.2.2 Коротка характеристика впливу надзвичайних ситуацій природного характеру.....	57
4.2.3 Заходи при землетрусі	58

4.2.4 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта.....	59
4.2.5 Системи сейсмозахисту будівель і споруд.....	60
ВИСНОВКИ.....	61
Список літератури.....	62

ВСТУП

В даний час завдяки активному впровадженню інформаційних технологій з'явилися принципово нові можливості в проектуванні будівель та споруд. За допомогою прикладних пакетів САПР можна виконувати розрахунок конструкцій практично будь-якої форми, створюючи при цьому образ проектованої конструкції на основі наявних примітивів.

Мета роботи: підвищення стійкості оболонок двоякої Гауссової кривизни при дії сейсмічних навантажень.

Об'єкт дослідження – є поведінка однопорожнинного гіперболоїда при дії сейсмічних навантажень.

Предмет дослідження – частоти та періоди власних коливань однопорожнинного гіперболоїда.

Завдання дослідження:

- виявити основні історичні відомості розвитку просторових конструкцій;
- з'ясувати математичні моделі основних оболонок двоякої Гауссової кривизни та тентових оболонок;
- розробити скінченно-елементну об'ємну модель однопорожнинного гіперболоїда;
- провести розрахунок частот та періодів власних коливань однопорожнинного гіперболоїда;
- виконати аналіз частот та періодів власних коливань однопорожнинного гіперболоїда;
- дати рекомендації стосовно поведінки однопорожнинного гіперболоїда при дії сейсмічного навантаження;
- розробити заходи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Методи дослідження – При вирішенні поставлених завдань застосовуються методи чисельного моделювання, в тому числі моделювання методом скінченних елементів.

Наукова новизна отриманих результатів- отримала подальший розвиток методика визначення власних частот та періодів коливань однопорожнинного гіперболоїда при дії сейсмічних навантажень.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані для проектування нових та реконструкції існуючих будівель та споруд різноманітного функціонального призначення, а також в лекційних і практичних курсах.

Апробація. Основні положення та окремі результати даного дослідження доповідались на V Міжнародній студентській науково - технічній конференції "ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ", ТНТУ 28-29.04.2022.

РОЗДІЛ 1. Історичний розвиток просторових конструкцій

Починаючи з примітивних і культових будівель, досить довго в будівництві застосовували прості геометричні моделі (паралелепіеди, призми, піраміди, конуси, сфери). Розвиток культури, науки, накопичення практичного досвіду людей привели до фантастичних досягнень у будівництві найрізноманітніших будівель і споруд промислового і цивільного призначення. Ці досягнення відображаються в використовуваних при будівництві матеріалах, в архітектурному вигляді будівель, а також в технології їх зведення.

Різноманіття форм покриттів будівель надзвичайно велике. Це можуть бути купольні, шатрові, конькові та інші склепіння на круглому і прямокутних планах. Джерелом створюваного різноманіття форм покриттів будівель і споруд служить різноманітність описуваних математичними засобами геометричних об'єктів. Однак пряме перенесення результатів математичного опису геометричних об'єктів в практику проектування будівельних конструкцій неможливий, оскільки математичне моделювання та проектування будівельних конструкцій мають різні цілі і використовують різні засоби. Суворий і повний математичний опис геометричних об'єктів при використанні в будівельній практиці слід доповнити можливостями уявлення математичних моделей основних геометричних об'єктів конструктивними параметрами споруди. До цих параметрів в першу чергу слід віднести висоту і розміри в плані.

Зокрема, широке застосування в будівельній практиці отримали щоглові конструкції в формі однопорожнинних гіперболоїдів, які, також як і гіперболічний гіперболоїд, є двічі лінійчатиими поверхнями від'ємної Гауссової кривизни.

На основі однопорожнинних гіперболоїдів Володимиром Григоровичем Шуховим розроблена досить проста у виготовленні конструкція сітчастих (ажурних, як їх називав сам Шухов) башт. Стрижневі конструкції у вигляді

декількох секцій, які встановлюються одна на іншу, утворювали вежі, які широко використовувалися в якості водонапірних башт, маяків і навіть щогл кораблів. Найвідомішою з сітчастих башт Шухова є радіобашня на Шаболовці, побудована в 1922 р. Ідея використання однопорожнинних гіперболоїдів як формотворчих поверхонь різних споруд останнім часом отримала новий імпульс і була реалізована при будівництві таких об'єктів, як вежа в порту Кобе в Японії (проект архітектурно-будівельної компанії NIKKEN SEKKEI), телевежа Гуанчжоу (проект компанії ARUP), вежа Aspire Tower в Досі (архітектор Хаді Сіман).

Застосування лінійчатих поверхонь було проілюстровано на прикладі формоутворення циліндричних склепінь на прямокутному плані, де в якості направляючих ліній були використані криві другого порядку. Набором цих напрямних різноманіття циліндричних поверхонь, очевидно, не вичерпується.

Крім запропонованих Шуховим однопорожнинних гіперболоїдів, зручних для висотних споруд, при перекритті великих прольотів застосовувалися стержневі конструкції в формі сферичних, конічних поверхонь, циліндричних поверхонь з круговою або параболічною направляючою, а також плоскі структурні плити. До 80-х років ХХ століття сітчасті оболонки при будівництві житлових і адміністративних будівель застосовувалися вкрай рідко. Друге життя сітчастим оболонкам повернуло захоплення багатьох світових архітекторів стилем «Hi-Tech» і деконструктивізмом.

Річард Роджерс, Сантьяго Калатрава, Франк О. Гері і чимало ідеологів стилю Hi-Tech в своїх проектах часто використовують конструкції з криволінійними обрисами. Один із способів створення споруд з криволінійними обрисами - це використання покриттів на основі сітчастих оболонок. У 1974-76 роках німецькі архітектори Хьюго Херинг і Фрай Отто застосували сітчасті оболонки при будівництві торгового павільйону в Мангеймі, блискуче продемонструвавши можливості цього виду конструкцій.

Сітчасті оболонки застосовує в своїх проектах і найяскравіший представник напрямку Hi-Tech в архітектурі Норманн Фостер.

Ще одним яскравим прикладом оригінальної сітчастої конструкції є павільйон Японії на виставці ЕКСПО 2000.

Із використанням запропонованих поверхонь другого порядку і лінійчатих поверхонь можна змодельовати досить велике, але, все ж, обмежене число сітчастих просторових конструкцій. Ця обмеженість обумовлена використанням при завданні направляючих і твірних ліній поверхні найпростіших геометричних образів. У розглянутих випадках формоутворення використовувалися, в основному, прямі лінії, криві другого порядку, а також поверхні другого порядку.

РОЗДІЛ 2. Математичні моделі оболонок

2.1 Математичні описи основних оболонок двоякої Гауссової кривизни

Канонічне рівняння поверхні однопорожнинного гіперболоїда має вигляді:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$$

Для моделювання елементів конструкцій, що відображають лінійність однопорожнинного гіперболоїда, зручніше, як і в випадку гіперболічного параболоїда, скористатися іншою параметризацією. Нова параметризація повинна забезпечити збіг сітки координатних ліній поверхні з її лінійними твірними. Для отримання потрібного параметричного рівняння поверхні однопорожнинного гіперболоїда запишемо векторні рівняння двох його лінійних твірних для випадку, коли параметри a , b і c , що входять в канонічне рівняння однопорожнинного гіперболоїда, приймають значення рівні одиниці. Відповідні рівняння мають вигляд:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_0 + \vec{l}_1 t, \vec{r}_2 = \vec{r}_0 + \vec{l}_2 t,$$

Де $\vec{r}_0 = \{1; 0; 0\}$ - точка, через яку проходять обидві утворюючі, $\vec{l}_1 = \{0; 1; 1\}, \vec{l}_2 = \{0; -1; 1\}$ - направляючі вектори твірних $\vec{r}_1 = \vec{r}_1(t), \vec{r}_2 = \vec{r}_2(t)$ відповідно.

З використанням матричних позначень:

$$\hat{r}_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \hat{l}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \hat{l}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

рівняння поверхні гіперболоїда для довільних значень параметрів a , b , c можна записати в наступному вигляді

$$\begin{aligned} \hat{r} &= MA(\varphi)(\hat{r}_0 + \hat{l}_1 t), 0 \leq \varphi \leq 2\pi, t_1 \leq t \leq t_2 \\ \hat{r} &= MA(\varphi)(\hat{r}_0 + \hat{l}_2 t), 0 \leq \varphi \leq 2\pi, t_1 \leq t \leq t_2 \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\text{Де } M = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & c \end{pmatrix}, A(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

При моделюванні суцільностінчатих конструкцій з використанням однопорожнинного гіперboloїда для задання елемента формотворної поверхні досить одного з цих рівнянь (див. рис. 2.1). У разі проектування стержневої конструкції (рис. 2.2), жорсткість якої визначається стержневими елементами, відповідними двох родин твірних, поверхня однопорожнинного гіперboloїда задається обома рівняннями з дискретним набором кутів повороту φ , що входять в матрицю повороту $A(\varphi)$.

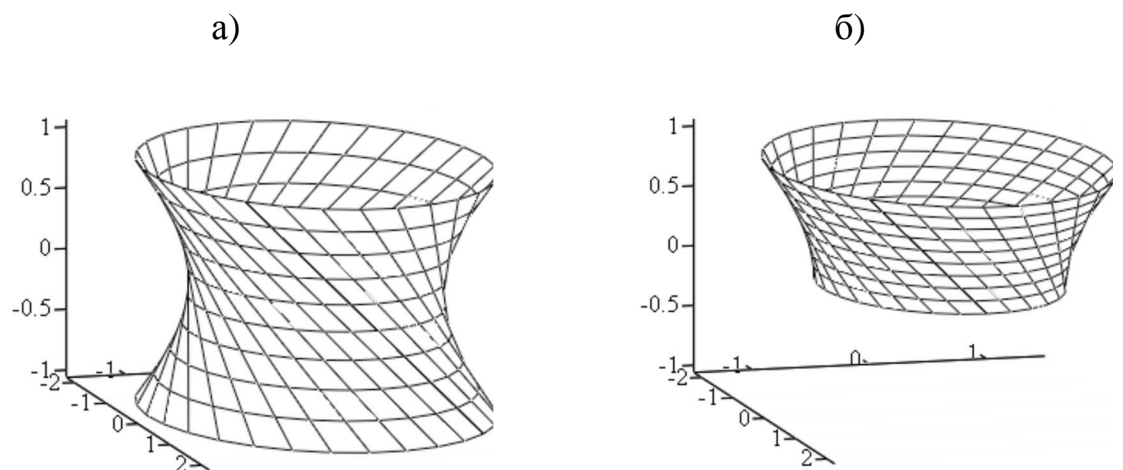


Рис. 2.1. Поверхня однопорожнинного гіперboloїда:

а - при значеннях параметрів $a = 1,5, b = c = 1, t_1 = -1, t_2 = 1$;

б - при значеннях параметрів $2a = b = c = 1, t_1 = 0, t_2 = 1$

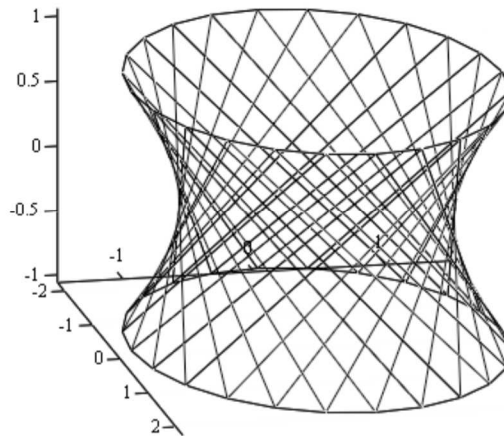


Рис. 2.2. Модель стержневої конструкції в формі однопорожнинного гіперболоїда при значеннях параметрів $a = 1,5$, $b = c = 1$, $t_1 = -1$, $t_2 = 1$

Нехай H - висота елемента конструкції в формі однопорожнинного гіперболоїда з параметрами $a = b = c = 1$. Висловимо параметри t_1 і t_2 через конструктивний параметр H . Радіус-вектор точки A на нижній межі елемента визначається виразом:

$$\vec{r}_A = \vec{r}_0 + \vec{l}_1 t_1,$$

Тоді $\vec{r}_A = (1, t_1, t_1)$, і радіус-вектор однієї з точок на верхній межі елемента визначається виразом:

$$\vec{r}_B = \vec{r}_0 + \vec{l}_1 t_2,$$

Тоді $\vec{r}_B = (1, t_2, t_2)$.

Висота елемента конструкції H визначається за формулою:

$$H = |z_B - z_A| = |t_2 - t_1|.$$

При параметрах a , b і c , відмінних від 1, висота елемента конструкції H дорівнює:

$$H = c|t_2 - t_1|.$$

Якщо, $|t_1| = |t_2|$, маємо поверхню, симетричну відносно площини, що проходить через вершини гіпербол.

У загальному випадку циліндрична поверхня може бути отримана наступним чином. Нехай задана довільна просторова напрямна лінія рівнянням $\vec{r}_H = \vec{r}_H(u)$, і заданий одиничний вектор \vec{l} твірної прямої. Тоді рівняння циліндричної поверхні може бути записано векторною рівністю:

$$\vec{r}_H = \vec{r}_H(u) + v\vec{l},$$

де u і v - параметри.

Як приклад наведемо рівняння і форму циліндричної поверхні за допомогою ключового у вигляді подовженої гіпоциклоїди, заданої рівнянням:

$$\vec{r}_H = \left\{ (b-a)\cos\varphi + a\lambda\cos\left(\frac{b-a}{a}\varphi\right); 0; (b-a)\cos\varphi + a\lambda\cos\left(\frac{b-a}{a}\varphi\right) \right\}, 0 \leq \varphi \leq \pi,$$

одиничний вектор твірної визначимо рівністю $\vec{l} = \{0; 1; 0\}$.

Рівняння відповідної циліндричної поверхні, представленої на рис. 2.3, має вигляд:

$$\vec{r} = \left\{ (b-a)\cos\varphi + a\lambda\cos\left(\frac{b-a}{a}\varphi\right); v; (b-a)\cos\varphi - a\lambda\cos\left(\frac{b-a}{a}\varphi\right) \right\}, 0 \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq v \leq b$$

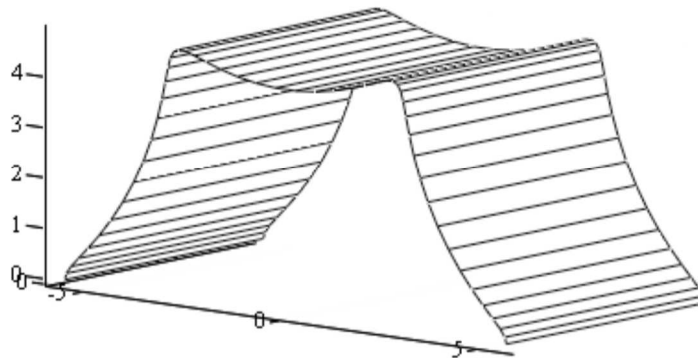


Рис. 2.3. Циліндрична поверхня за створена допомогою твірної у вигляді подовженої гіпоциклоїди при значеннях параметрів $a = 1$, $b = 6$, і $\lambda = 0,5$

Параметри, що входять в математичну модель циліндричної поверхні, можна виразити через конструктивні параметри конструкції. Наприклад, через розміри в плані і висоту, якщо мова йде про моделювання склепінь. При цьому межі області значень параметра v виражаються через довжину конструкції (розмір, вимірюваний вздовж котрої утворюється циліндрична поверхня), а параметри направляючої кривої пов'язані з шириною і висотою конструкції. Визначити цей взаємозв'язок можна, підставляючи координати характерних точок (наприклад, точки в основі конструкції і крайня верхня точка) в рівняння направляючої кривої.

Іншою досить простою лінійчатою поверхнею, що використовується при моделюванні просторових конструкцій, є конічна поверхня. Ця поверхня утворюється рухом прямої лінії (твірної), що проходить через деяку нерухому точку (вершину) і послідовно через всі точки деякої кривої лінії (напрямної).

Нехай довільна просторова напрямна лінія конічної поверхні задана рівнянням $\vec{r}_H = \vec{r}_H(u)$, і задана її вершина S радіус-гіпоциклоїди при значеннях параметрів вектором \vec{r}_S . Тоді рівняння конічної поверхні записується векторною рівністю:

$$\vec{r} = (1-v)\vec{r}_H(u) + v\vec{r}_s,$$

де u і v - параметри.

Як приклад наведемо рівняння і форму конічної поверхні з вершиною, заданої радіус-вектором направляючої у вигляді еліпса, заданого рівнянням:

$$\vec{r}_H = \{6\cos u; 4\sin u\}, 0 \leq u \leq 2\pi.$$

Рівняння відповідної несиметричною конічної поверхні (рис. 2.4) приймає вид:

$$\vec{r}_H = \{6(1-v)\cos u; 4(1-v)\sin u + 3v; 5v\}, 0 \leq u \leq 2\pi, 0 \leq v \leq 1.$$

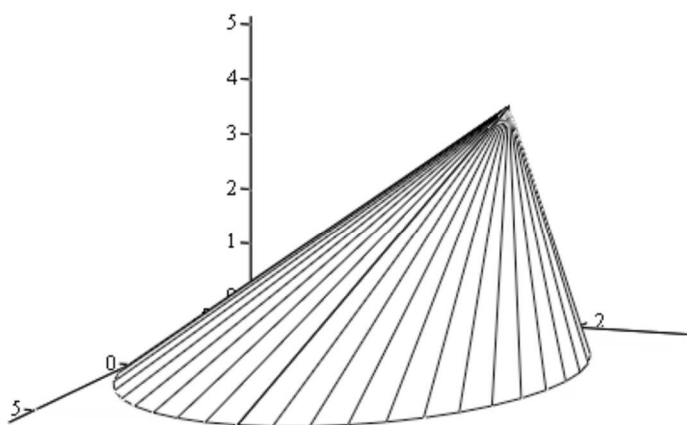


Рис. 2.4. Несиметрична конічна поверхня з еліптичною направляючою лінією

Узагальнення лінійчатої конічної поверхні може бути виконано засобами нарисної геометрії з використанням деякої зафіксованої в просторі площини, яку називають площиною паралелізму. Однією з таких поверхонь є коноїд. Ця поверхня утворена рухом прямої лінії, у всіх своїх положеннях паралельній площині паралелізму і перетинає дві напрямні, одна з яких крива, а інша пряма лінія.

Розглянемо аналітичний аналог формоутворення коноїдальної поверхні. Нехай площину паралелізму задано одиничним вектором нормалі \vec{n} , а направляюча пряма і крива задані векторними рівняннями:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_0 + \vec{l}t, \vec{r}_2 = \vec{r}_2(u),$$

Встановлюючи відповідність параметрів t і u рівностію:

$$(\vec{r}_1(t) - \vec{r}_2(u)) \cdot \vec{n} = 0,$$

виражаючи умову паралельності твірної коноїда площині паралелізму, знаходимо залежність: $u = u(t), t = t(u)$.

Тоді рівняння коноїда може бути представлено у вигляді:

$$\vec{r} = \vec{r}_1(t) + \vec{r}(u(t)) - \vec{r}_1(t))v, t_1 \leq t \leq t_2, 0 \leq v \leq 1,$$

чи

$$\vec{r} = \vec{r}_2(u) + \vec{r}_1(u(t)) - \vec{r}_2(t))v, u_1 \leq u \leq u_2, 0 \leq v \leq 1.$$

Для прикладу побудуємо поверхню коноїда з направляючими у вигляді прямої лінії і параболи, заданих рівняннями:

$$\vec{r}_1 = \{t; 0; 0\} \vec{r}_2 = \{u; 2; 1 - u^2\},$$

якщо площину паралелізму задано вектором $\vec{n} = \{1; 0; 0\}$.

Записуючи рівняння (5.2) зв'язку між параметрами t і u :

$$(t - u) \cdot 1 + (0 - 2) \cdot 0 + (u^2 - 1) \cdot 0 = 0,$$

знаходимо $t = u$.

Тоді рівняння коноїда може бути записано у вигляді:

$$\vec{r} = \{u; 2; 1 - u^2\} + (\{u; 2; 1 - u^2\} - (u; 0; 0))v, 0 \leq v \leq 1, u_1 \leq u \leq u_2,$$

чи

$$\vec{r} = \{u; 2; 1 - u^2\} + \{0; -2; u^2 - 1\}v, 0 \leq v \leq 1, u_1 \leq u \leq u_2.$$

Результуюча поверхня, для випадку, коли параметр u змінюється в межах $-1 \leq u \leq 1$, , показана на рис. 2.5.

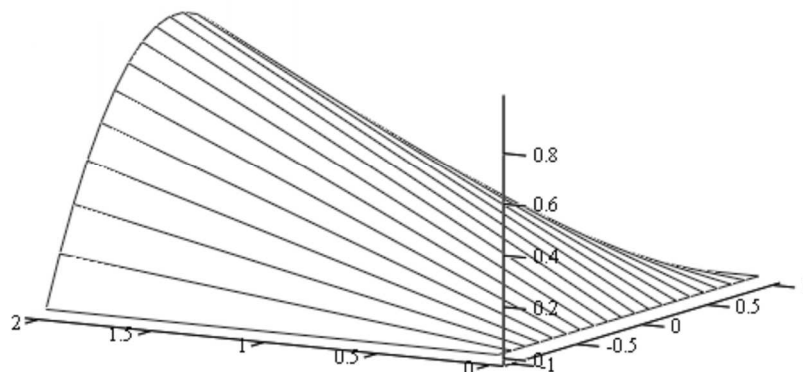


Рис. 2.5. Поверхня коноїда з направляючими у вигляді прямої лінії і параболи

Геометрична умова формоутворення лінійчатої поверхні, твірні якої перетинають криву і пряму лінії, базується на використанні площині паралелізму можна замінити іншими аналітичними умовами. Отримані при цьому поверхні не є тотожними, але близькі за формою і можуть бути обмежені однаковими відрізками напрямних ліній. Регулярним коноїдом назвемо поверхню, утворену рухом прямої твірної вздовж двох направляючих (одна з яких пряма, інша - крива) таким чином, що точки перетину твірної у всіх її положеннях з направляючою розподілені рівномірно.

Нехай задано направляючий відрізок M_1M_2 рівнянням:

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 + (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)t, 0 \leq t \leq 1,$$

ділянку M_3M_4 направляючої кривої рівнянням:

$$\vec{r}_{34} = \vec{r}_{34}(u), u_3 \leq u \leq u_4, \quad (1.1)$$

Перейдемо в рівнянні направляючої кривої до нормованого параметру t згідно рівності:

$$t = \frac{\int_{u_3}^u |d\vec{r}_{34}|}{\int_{u_3}^{u_4} |d\vec{r}_{34}|}, \quad (1.2)$$

який забезпечує рівномірність розподілу точок перетину лінійної твірної і направляючими лініями. Після визначення зворотної функції для функції, заданої інтегралом (1.2) із змінною верхньою межею, рівняння (1.1) може бути переписано у вигляді:

$$\vec{r}_{34} = \vec{r}_{34}(u(t)), 0 \leq t \leq 1.$$

Тоді рівняння регулярного коноїда записується рівністю:

$$\vec{r} = (1-v)\vec{r}_{12}(t) + v\vec{r}_{34}(t), 0 \leq t \leq 1, 0 \leq v \leq 1,$$

або

$$\vec{r} = (1-v)(1-t)\vec{r}_1 + (1-v)t\vec{r}_2 + v\vec{r}_{34}(t), 0 \leq t \leq 1, 0 \leq v \leq 1, \quad (1.3)$$

Для ілюстрації запропонованого методу побудови регулярного коноїда задаймо направляючий відрізок прямої векторних рівнянням:

$$\vec{r}_{12} = \{0,5;0;0\} + \{-0,5;0;0\}t, 0 \leq t \leq 1,$$

а ділянку криволінійної направляючої задаємо у вигляді дуги кола:

$$\vec{r}_{34} = \left\{ \cos u; 1; \sin u - \frac{\sqrt{2}}{2} \right\}, \frac{\pi}{4} \leq t \leq \frac{3\pi}{4}.$$

Підстановка знайдених функцій $\vec{r}_{34} = \vec{r}_{34}(u), u = u(t)$ в рівність (1.3) дає наступне рівняння шуканого елемента поверхні (рис. 1.6):

$$\vec{r}_{12} = (1-v)(1-t)\{0,5;0;0\} + (1-v)t\{-0,5;0;0\} + v \left\{ \cos \frac{2\pi t + \pi}{4}, 1, \sin \frac{2\pi t + \pi}{4} - \frac{\sqrt{2}}{2} \right\},$$

$$0 \leq t \leq 1, 0 \leq v \leq 1.$$

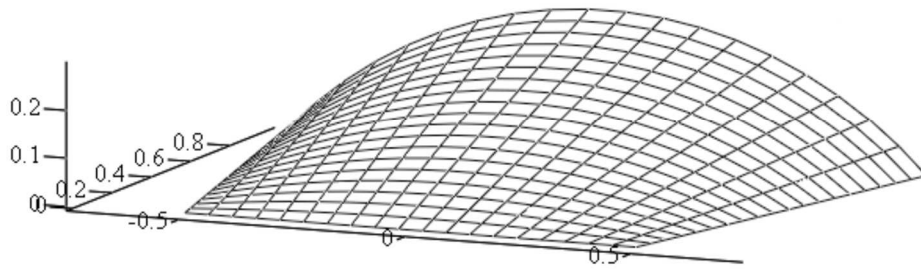


Рис. 2.6. Регулярний коноїд з направляючими у вигляді дуги кола і відрізка прямої

Розглянуті математичні моделі конічних і коноїдальних елементів просторових конструкцій в будівельній практиці знаходять широке застосування при проектуванні шедових покриттів. Ці покриття мають ряд переваг - розсіяне освітлення без прямого попадання сонячних променів, сприятливі умови для опалення та вентиляції приміщень. В силу рівномірності вузлів перетину твірної з направляючими лініями використання регулярних коноїдів може дати додаткові переваги в частині підвищення їх несучої здатності і спрощення організації вузлів з'єднання елементів конструкції.

При використанні поверхонь коноїда і регулярного коноїда для проектування шедових покриттів параметри направляючої кривої виразити через необхідні конструктивні параметри шедовими покриття (висота і розміри в плані). Зв'язок між цими параметрами може бути визначена з рішення системи рівнянь, отриманих підстановкою координат точок на шедовому покритті в рівняння направляючих ліній. З використанням площини, що займає фіксоване положення в просторі, - площині паралелізму можна отримати лінійчату поверхню, що перетинає дві криві напрямні і звану циліндроїдом.

Нехай площина паралелізму задана вектором нормалі \vec{n} , а направляючі криві задані рівняннями:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_1(t), \vec{r}_2 = \vec{r}_2(u)$$

Відповідність параметрів t і u встановимо аналогічно тому, як це робилося при побудові коноїда, рівністю:

$$(\vec{r}_1(t) - \vec{r}_2(u)) \cdot \vec{n} = 0, (5.6)$$

Звідки можна знайти залежність $u = u(t), t = t(u)$.

Залежно від вибору незалежного параметра t або u рівняння циліндроїда представимо у вигляді:

$$\vec{r} = \vec{r}_1(t) + \vec{r}_2(u(t)) - \vec{r}_1(t))v,$$

чи

$$\vec{r} = \vec{r}_2(u) + \vec{r}_1(u(t)) - \vec{r}_2(t))v.$$

Як приклад запишемо рівняння і зобразимо поверхню циліндроїда з направляючими у вигляді парабол:

$$\vec{r}_1 = \{t; 0; t^2\} \vec{r}_2 = \{u; 1; u^2\},$$

якщо площина паралелізму задана вектором $\vec{n} = \{0; 0; 1\}$.

Записуючи рівняння (5.6) зв'язку між параметрами t і u , знаходимо

$$(t - u) \cdot 1 + (0 - 1) \cdot 0 + (t^2 - u^2) \cdot 1 = 0,$$

знаходимо $t = -u$.

Тоді рівняння циліндроїда в області зміни параметра u в заданих межах, наприклад $0 \leq u \leq 1$, набуде вигляду:

$$\vec{r} = \{u; 1; u^2\} + (\{-u; 2; u^2\} - (u; 1; u^2))v, 0 \leq v \leq 1; 0 \leq u \leq 1,$$

чи

$$\vec{r} = \{u; 1; u^2\} + \{-2u; -1; 0\}v, 0 \leq v \leq 1, 0 \leq u \leq 1.$$

Відповідна поверхня показана на рис. 2.7.

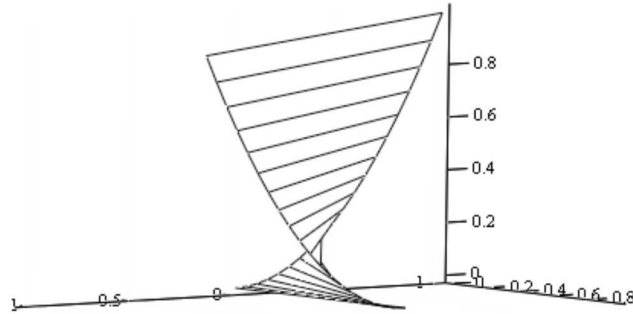


Рис. 2.7. Циліндроїда з направляючими у вигляді парабол і горизонтальною площиною паралелізму

Узагальнення поверхня циліндроїда, що забезпечує рівномірність розподілу точок перетину твірних з направляючими кривими, можна здійснити так само, як і в разі побудови регулярного коноїда. Регулярним циліндроїдом назвемо поверхню, утворену рухом прямої твірної вздовж двох криволінійних направляючих так, щоб точки перетину твірної у всіх її положеннях з направляючою розподіляються рівномірно.

Нехай задані ділянки направляючих кривих M_1M_2 і M_3M_4 рівняннями:

$$\begin{aligned} \vec{r}_{12} &= \vec{r}_{12}(u), u_1 \leq u \leq u_2, \\ \vec{r}_{34} &= \vec{r}_{34}(u), u_3 \leq u \leq u_4, \end{aligned}$$

Для запису рівняння регулярного циліндроїда в рівняннях направляючих кривих необхідно виконати нормування параметрів для кожної кривої згідно з такими рівностями:

$$t = \frac{\int_{u_1}^u |d\vec{r}_{34}|}{\int_{u_1}^{u_2} |d\vec{r}_{34}|}, t = \frac{\int_{u_3}^u |d\vec{r}_{34}|}{\int_{u_3}^{u_4} |d\vec{r}_{34}|}. \quad (5.7)$$

Тоді рівняння регулярного циліндроїда може бути записано з використанням зворотних функцій, заданих інтегралами (5.7), у вигляді:

$$\vec{r} = (1 - \lambda)\vec{r}_{12}(u(t)) + \lambda\vec{r}_{34}(v(t)), 0 \leq t \leq 1, 0 \leq \lambda \leq 1.$$

Прикладом побудови регулярного циліндроїда може служити побудова поверхні з направляючими у вигляді дуг кіл:

$$\vec{r}_{12} = \{0; \cos u; \sin u\}, \frac{\pi}{6} \leq t \leq \frac{5\pi}{6},$$

$$\vec{r}_{34} = \{2; -2,5; \cos v; 2,5 \sin v + 4,5\}, \frac{5\pi}{4} \leq v \leq \frac{7\pi}{4}.$$

Виконаємо нормування параметрів, використовуючи рівності (5.7). Для направляючої кривої, заданої рівнянням $\vec{r}_{12} = \vec{r}_{12}(u)$, отримаємо умову:

$$u = \frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{6},$$

а для направляючої кривої, заданої рівнянням, отримаємо іншу умову:

$$v = \frac{\pi}{2}t + \frac{5\pi}{4}.$$

З урахуванням отриманих співвідношень між параметрами, рівняння регулярного циліндроїда набирає вигляду:

$$\vec{r}_{12} = (1 - v) \left\{ 0; \cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{6}\right); \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{6}\right) \right\} + v \left\{ 2; -2,5 \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{5\pi}{4}\right); 2,5 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{5\pi}{4}\right) + 4,5 \right\},$$

$$0 \leq t \leq 1, 0 \leq v \leq 1.$$

Відповідна поверхня регулярного циліндроїда показана на рис. 2.8. Варто звернути увагу на той факт, що кривизна побудованої поверхні змінюється плавним чином при русі вздовж кожної з її твірних, а самі твірні рівномірним чином розподілені по цій поверхні. Це, безумовно, відкриває великі можливості по створенню різноманітних просторових конструкцій, що

забезпечують з'єднання технологічними в їх виготовленні з високою несучою здатністю за рахунок рівномірного розташування несучих елементів.

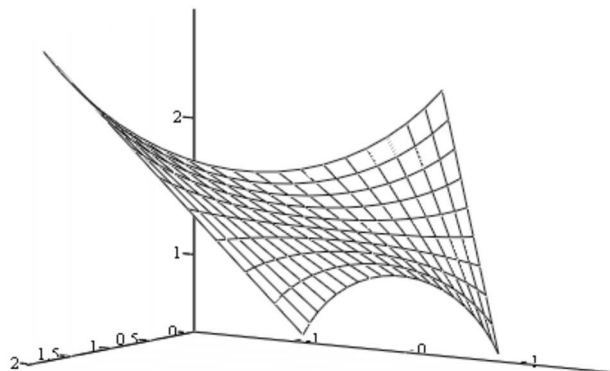


Рис. 2.8. Регулярний циліндроїд з направляючими у вигляді дуг кіл

Очевидно, що в якості направляючих кривих для циліндроїда і регулярного циліндроїда можна використовувати не тільки параболи і дуги кіл, а й інші аналітичні криві. В цьому випадку можна отримати велику кількість різноманітних поверхонь, які можна застосовувати як для моделювання будівельних конструкцій, так і в інших галузях промисловості.

Особливим класом лінійчатих поверхонь, які можуть бути використані при геометричному моделюванні, є торсові поверхні - поверхні дотичних до довільної гладкої просторової кривої. Торсова поверхня має нульову Гауссову кривизну в кожній своїй точці, і як доводиться методами диференціальної геометрії, є лінійчатою поверхнею що розгортається. Це означає, що фрагмент торсової поверхні може бути без складок і розривів суміщений усіма його точками з площиною. Дана властивість торсової поверхні може бути використано в технології виготовлення залізобетонних конструкцій з використанням рулонних арматурних сіток, при розкрої елементів тентових або листових конструкцій, при зміцненні укосів з використанням різних листових матеріалів.

Загальне рівняння торсової поверхні, виходячи з її визначення як поверхні дотичних до деякої просторової кривої, можна записати у вигляді:

$$\vec{r}(u, v) = \vec{r}_H(u) + v\vec{\tau}(u), \quad (5.8)$$

де $\vec{r}_H(u)$ радіус-вектор точок направляючої кривої, $\vec{\tau}$ - одиничний вектор дотичної до направляючої кривої, який визначається співвідношенням:

$$\vec{\tau}(u) = \frac{\frac{d\vec{r}_H}{du}}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \right|}. \quad (5.9)$$

З використанням співвідношення (5.9) загальне рівняння торсової поверхні може бути записано у вигляді:

$$\vec{r}(u, v) = \vec{r}_H(u) + v \frac{d\vec{r}_H / du}{\left| d\vec{r}_H / du \right|}. \quad (5.10)$$

Як приклад запишемо рівняння і виконаємо побудову торсової поверхні з напрямною кривою у вигляді гвинтової лінії, заданої рівнянням:

$$\vec{r}_H(u) = \{5 \cos u; 5 \sin u, u\}, 0 \leq u \leq 3\pi.$$

Визначаючи за допомогою співвідношення (5.9) вектор дотичної в кожній точці направляючої кривої:

$$\vec{\tau}(u) = \frac{\frac{d\vec{r}_H}{du}}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \right|} = \left\{ \frac{-5 \sin u}{\sqrt{29}}; \frac{-5 \cos u}{\sqrt{29}}; \frac{2}{\sqrt{29}} \right\},$$

за допомогою рівняння (5.8) отримуємо рівняння торсової поверхні в наступному вигляді:

$$\hat{r}(u, v) = \begin{pmatrix} 5 \cos u \\ 5 \sin u \\ 2u \end{pmatrix} + \frac{v}{\sqrt{29}} \begin{pmatrix} -5 \sin u \\ 5 \cos u \\ 2u \end{pmatrix}, 0 \leq u \leq 3\pi.$$

На рис. 2.9 а представлена торсова поверхня при зміні параметра v в межах $0 \leq v \leq 8$. Ця поверхня відома в техніці як гвинт Архімеда і застосовувалася ще в античності при створенні найпростіших гідротехнічних споруд. На рис. 1.9 б представлений вид цієї ж торсової поверхні, коли параметра v змінюється в межах $-8 \leq v \leq 8$, що добре ілюструє той факт, що направляюча крива є ребром повернення торсової поверхні, а сама торсова поверхня складається з двох порожнин.

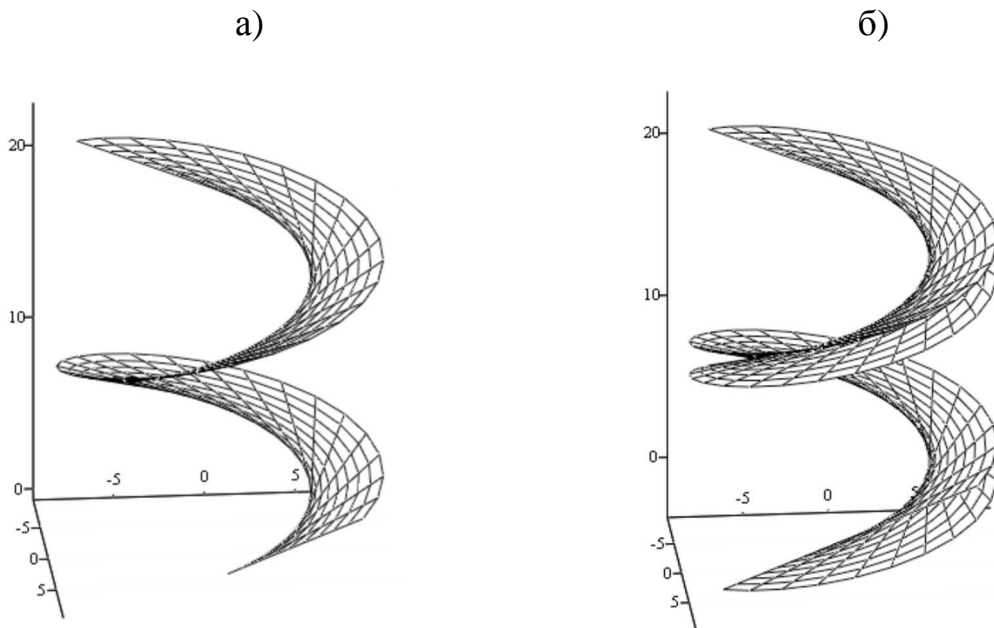


Рис. 2.9. Торсова поверхня з направляючою у вигляді гвинтової лінії:

а - при $0 \leq v \leq 8$; б - при $-8 \leq v \leq 8$

Як інший приклад торсової поверхні розглянемо поверхню з ребром повернення у вигляді гвинтової спіралі, заданої рівнянням

$$\vec{r}_H(u) = \{u \cos u; u \sin u, u\}, 0 \leq u \leq 3\pi. \quad (5.13)$$

Визначаючи вектор дотичної до заданої направляючої кривої у вигляді

$$\vec{\tau}(u) = \frac{d\vec{r}_H}{du} = \left\{ \frac{\cos u - u \sin u}{\sqrt{2+u^2}}; \frac{\sin u + u \cos u}{\sqrt{2+u^2}}; \frac{1}{\sqrt{2+u^2}} \right\},$$

знаходимо відповідно до рівності (5.10) рівняння торсової поверхні

$$\hat{r}(u, v) = \begin{pmatrix} u \cos u \\ u \sin u \\ u \end{pmatrix} + \frac{v}{\sqrt{2+u^2}} \begin{pmatrix} \cos u - u \sin u \\ \sin u + u \cos u \\ 1 \end{pmatrix}, 0 \leq u \leq 3\pi, 0 \leq v \leq 7.$$

Отримана торсова поверхню представлена на рис. 2.10.

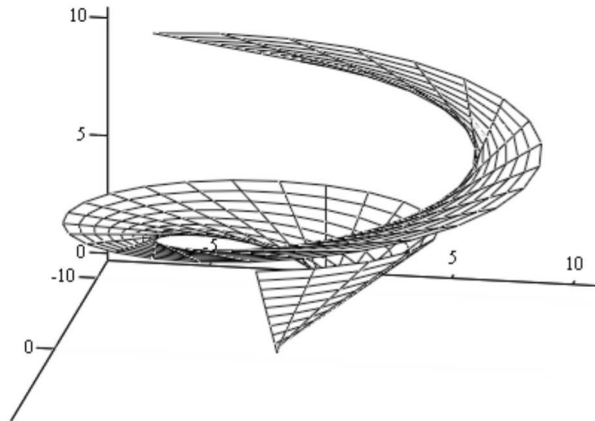


Рис. 2.10. Торсова поверхню з направляючою у вигляді гвинтової спіралі

Розглянуті в цьому розділі лінійчаті поверхні, описані в спеціальній літературі, використовуються при проектуванні просторових конструкцій. Ці поверхні не вичерпують усієї можливої різноманітності лінійчатих поверхонь. Більшої їх різноманітності можна домогтися на основі кінематичного алгоритму, що спирається на визначення лінійчатої поверхні. Нехай задана довільна просторова направляюча крива, з якою пов'язана твірна лінійчатої поверхні, яка здійснює рух в просторі. Тоді загальне рівняння лінійчатої поверхні може бути записано у вигляді:

$$\vec{r}(u, v) = \vec{r}_H(u) + [\vec{\rho}(u, v) \cdot \vec{\tau}(u)] \vec{\tau}(u) + [\vec{\rho}(u, v) \cdot \vec{n}(u)] \vec{n}(u) + [\vec{\rho}(u, v) \cdot \vec{b}(u)] \vec{b}(u), (5.14)$$

де $\vec{r}_H(u)$ - радіус-вектор точок направляючої кривої, $\vec{\tau}, \vec{n}, \vec{b}$ - одиничні вектори дотичної, головної нормалі і бінормалі до направляючої кривої, що визначаються співвідношеннями:

$$\vec{\tau}(u) = \frac{d\vec{r}_H}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \right|}, \vec{n}(u) = \frac{\frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2}}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2} \right|} \times \frac{d\vec{r}_H}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \right|}, \vec{b}(u) = \frac{\frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2}}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2} \right|}, \quad (5.15)$$

$\vec{\rho}(u, v)$ лінійна по v вектор-функція скалярних аргументів.

Якщо в якості функції $\vec{\rho}(u, v)$ взяти функцію виду $\vec{\rho}(u, v) = v\vec{\tau}(u)$, то приходимо до описаної вище торсової поверхні. Функції виду $\vec{\rho}(u, v) = v\vec{n}(u)$ і $\vec{\rho}(u, v) = v\vec{b}(u)$ визначають поверхні, які називаються поверхнями головних нормалей і бінормалей відповідно.

Побудуємо для прикладу поверхню головних нормалей з направляючою у вигляді гвинтової спіралі, заданої рівнянням (5.13). Виконуючи послідовно операції диференціювання радіус-вектору направляючої кривої, обчислення відповідних векторних творів і їх модулів, знаходимо вираз для одиничного вектору головної нормалі в кожній точці направляючої кривої:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{r}_H}{du} &= \{\cos u - u \sin u; \sin u + u \cos u; 1\}, \\ \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2} &= \{-2 \sin u - u \cos u; 2 \cos u + u \sin u; 0\}, \\ \frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2} &= \{-2 \cos u - u \sin u; -2 \sin u - u \cos u; 2 + u^2\} \\ \left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \right| &= \sqrt{2 + u^2}, \quad \left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2} \right| = \sqrt{8 + 5u^2 + u^4}, \end{aligned}$$

та

$$\begin{aligned} \vec{n} &= \frac{\frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2}}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \times \frac{d^2\vec{r}_H}{du^2} \right|} \times \frac{d\vec{r}_H}{\left| \frac{d\vec{r}_H}{du} \right|} = \\ &= \left\{ \frac{-(4+u^2)\sin u - (u^3+3u)\cos u}{\sqrt{16+18u^2+7u^4+u^6}}; \frac{-(u^3+3u)\sin u + (4+u^2)\cos u}{\sqrt{16+18u^2+7u^4+u^6}}; \frac{u}{\sqrt{16+18u^2+7u^4+u^6}} \right\} \end{aligned}$$

Рівняння поверхні головних нормалей для заданої направляючої кривої з використанням загального рівняння лінійчатої поверхні (5.14) можна записати у вигляді:

$$\hat{r}(u, v) = \begin{pmatrix} u \cos u \\ u \sin u \\ u \end{pmatrix} + \frac{v}{\sqrt{16 + 18u^2 + 7u^4 + u^6}} \begin{pmatrix} -(4 + u^2) \sin u - (u^3 + 3u) \sin u \\ -(u^3 + 3u) \sin u + (4 + u^2) \cos u \\ -u \end{pmatrix},$$

$$0 \leq u \leq 3\pi, 0 \leq v \leq 7.$$

Отримана поверхня головних нормалей представлена на рис. 5.11.

Побудову поверхонь бінормалей проілюструємо із застосуванням вже розглянутої вище направляючої кривої, заданої рівністю (5.13). Виконуючи процедуру визначення одиничного вектора бінормалі згідно останньої з рівностей (5.15) і підставляючи отриману функцію в рівняння (5.14), отримаємо шукане рівняння поверхні бінормалей:

$$\hat{r}(u, v) = \begin{pmatrix} u \cos u \\ u \sin u \\ u \end{pmatrix} + \frac{v}{\sqrt{8 + 5u^2 + u^4}} \begin{pmatrix} -2 \cos u + u \sin u \\ -2 \sin u - u \cos u \\ 2 + u^2 \end{pmatrix},$$

$$0 \leq u \leq 3\pi, 0 \leq v \leq 7.$$

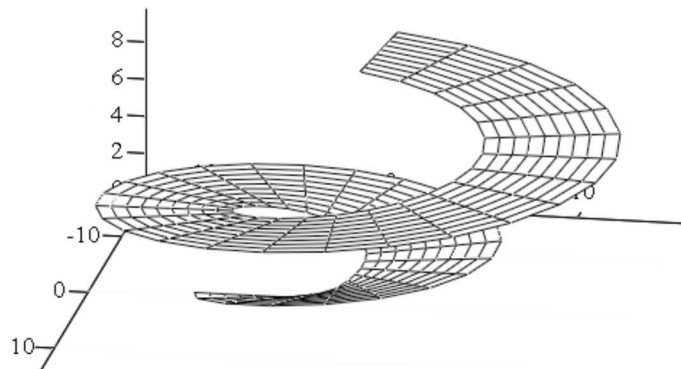


Рис. 2.11. Поверхня головних нормалей з направляючою у вигляді гвинтової спіралі
Відповідна поверхня головних бінормалей на рис. 2.12.

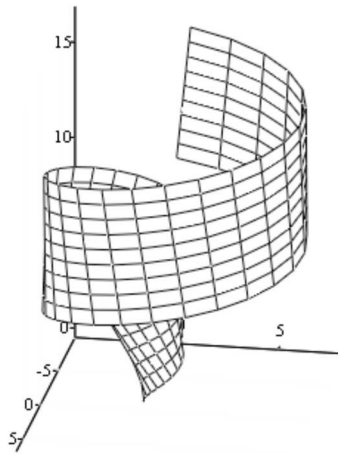


Рис. 2.12. Поверхня бінормалей з направляючою у вигляді гвинтової спіралі

Для моделювання лінійчатих поверхонь з прямолінійною направляючою лінією доцільно загальному рівнянню лінійчатої поверхні (5.14) надати приватну форму, в якій твірна лінія $\vec{\rho}(u, v)$ записується не в рухомому базисі $(\vec{\tau}, \vec{n}, \vec{b})$, а в фіксованому. Якщо направляючу пряму поєднати з віссю Oz , то в якості фіксованого слід вибрати базис $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, і рівняння лінійчатої поверхні може бути записано у вигляді:

$$\vec{r} = \vec{r}_H(z) + [\vec{\rho}(z, v) \cdot \vec{i}(u)] \vec{i}(u) + [\vec{\rho}(z, v) \cdot \vec{j}(u)] \vec{j}(u) + [\vec{\rho}(z, v) \cdot \vec{k}(u)] \vec{k}(u), \quad (5.16)$$

$$\text{де } \vec{r}_H(z) = \{0; 0; z\}.$$

Як приклад застосування рівняння лінійчатої поверхні виду (5.16) скористаємося нею для побудови прямого і похилого гелікоїда. Гелікоїд (гвинтом) називається поверхня, утворена рухом деякої лінії (твірної), що обертається навколо довільної осі з одночасним поступальним рухом уздовж цієї осі. швидкості цих рухів пропорційні. Якщо твірна є прямою лінією, то відповідна поверхня гелікоїда виходить лінійчатою.

Якщо функцію $\vec{\rho}(z, v)$ вибрати у вигляді:

$$\vec{\rho}(z, v) = \{v \cos cz; v \sin cz; 0\},$$

то одержувана поверхня є прямим гелікоїдом. Рівняння цієї поверхні

$$\vec{r}(z, v) = \{v \cos cz; v \sin cz; z\}.$$

Елемент поверхні прямого гелікоїда при значеннях параметрів $c = \pi, 0 \leq z \leq 3, 0 \leq v \leq 2$ зображений на рис. 2.13 а.

Задаючи функцію $\vec{\rho}(z, v)$ рівністю:

$$\vec{\rho}(z, v) = \{v \cos cz; v \sin cz; bv\},$$

знаходимо рівняння похилого гелікоїда:

$$\vec{r}(z, v) = \{v \cos cz; v \sin cz; bv + z\}.$$

Елемент поверхні похилого гелікоїда при значеннях параметрів $c = \pi, b = 1, 0 \leq z \leq 3, 0 \leq v \leq 2$ зображений на рис. 2.13 б.

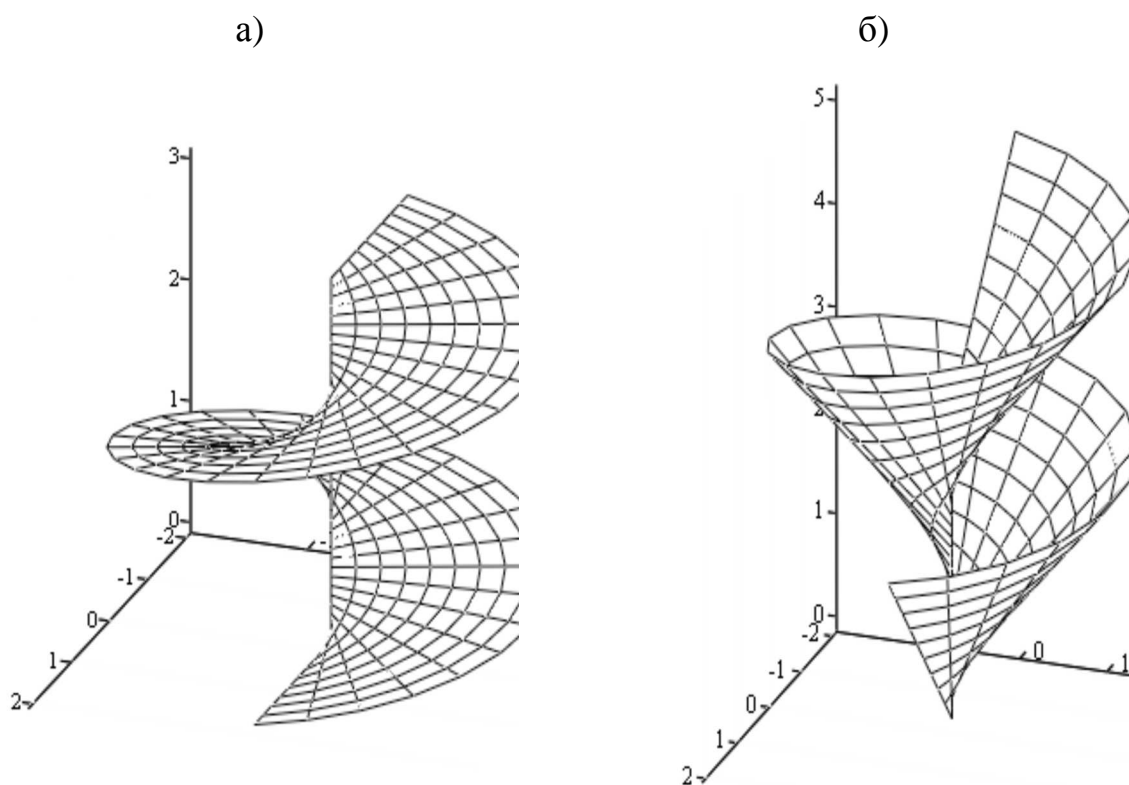


Рис. 2.13. Поверхні гелікоїда: а - прямий гелікоїд; б - похилий гелікоїд

2.2. Формотворчі елементи тентових конструкцій

Як уже згадувалося, широке застосування в практиці будівельного виробництва і не тільки в якості формотворчих конструктивних елементів знаходять поверхні, що розгортаються. Це дозволяє, завдяки їх великій різноманітності, реалізувати широкий спектр оригінальних архітектурно-планувальних рішень, що відповідають різним художнім, естетичним і конструктивним перевагам, включаючи можливість створювати будівлі і споруди в довільних стилях - від псевдоруського до хай-теку. Крім того, наявність прямолінійної твірної дозволяє створювати різні просторові конструкції химерних форм тільки з використанням прямолінійних несучих елементів.

Зокрема, поверхні що розгортаються дуже затребувані при проектуванні конструкцій тентів, що виготовляються з композитних вінілових тканин, так як це дозволяє виконувати попередньо крій плоских заготовок з подальшим їх згинанням і стикуванням по лініях крою.

Один з можливих, і досить простих, методів формоутворення окремих елементів листових конструкцій у вигляді поверхонь, що розгортаються аналітично може бути реалізований на основі процедури паралельного або центрального проектування довільної направляючої лінії на задану площину (рис. 2.14).

У першому випадку одержуваний елемент поверхні є циліндричним, а в другому випадку - конічним.

Для аналітичного представлення циліндричного або конічного елементів поверхні необхідно задати:

- рівняння направляючої кривої $\vec{r}_H = \vec{r}_H(u), u_1 \leq u \leq u_2$;
- одиничний вектор нормалі \vec{n} до площини проектування;
- положення довільної точки C площини проектування \vec{r}_c ;

- одиничний вектор \vec{l} твірної - для циліндричної поверхні або центр проєктування \vec{r}_s - для конічної поверхні.

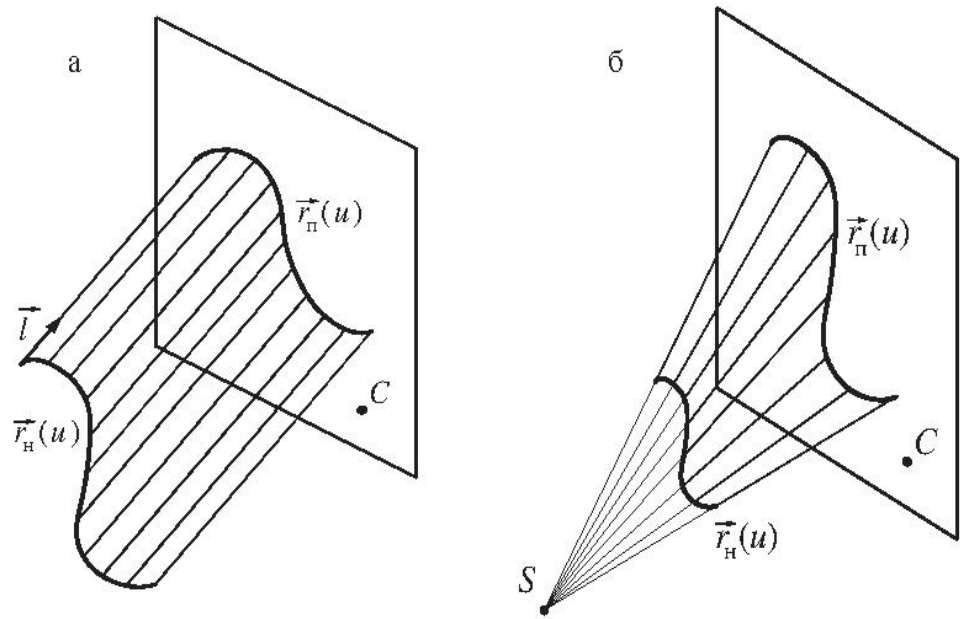


Рис. 2.14. Схеми проєктування: а - схема паралельного проєктування;
б - схема центрального проєктування

Тоді шуканий елемент формотвірної поверхні описується рівнянням:

$$\vec{r} = v\vec{r}_H(u) + (1-v)\vec{r}_\Pi(u), 0 \leq v \leq 1, u_1 \leq u \leq u_2, \quad (5.17)$$

тут $\vec{r}_\Pi(u)$ - радіус-вектор точок, що належать спроектованої на задану площину лінії. Для циліндричної поверхні рівняння цієї лінії в векторній формі має вигляд:

$$\vec{r}_\Pi = \vec{r}_\Pi(u) + \frac{(\vec{r}_c - \vec{r}_H(u)) \cdot \vec{n}}{\vec{l} \cdot \vec{n}} \vec{l}, \quad (5.18)$$

для конічної :

$$\vec{r}_\Pi = \vec{r}_s + \frac{(\vec{r}_c - \vec{r}_s) \cdot \vec{n}}{(\vec{r}_H(u) - \vec{r}_s) \cdot \vec{n}} (\vec{r}_H(u) - \vec{r}_s). \quad (5.19)$$

Представлену аналітичну процедуру формоутворення циліндричної поверхні проілюструємо на прикладі моделювання восьмигранного церковного купола (рис. 2.15). Модель купола описується наступними

параметрами: $r_1 = 2,42$ м - радіус кола, вписаного в основу купола, $r_2 = 3,67$ м - радіус кола, вписаного в найбільш широку частину купола, $h_1 = 7$ м - висота купола, $h_2 = 2$ м - відстань від основи купола до його найбільш широкої частини, $h_3 = 0,7$ м - висота опорного кільця під куполом. Перший формотворний елемент обмежується двома кривими лініями - проекціями \vec{r}_{I1} і \vec{r}_{I2} направляючою кривою на площини з нормаллями $\vec{n}_1 = \{\sin \pi / 8; -\cos \pi / 8; 0\}$ і $\vec{n}_2 = \{\sin \pi / 8; \cos \pi / 8; 0\}$. Решта сім формотворчих елементів отримані поворотом першого елемента навколо осі Oz на кути $\pi/8, 2\pi/8, 3\pi/8, 4\pi/8, 5\pi/8, 6\pi/8, 7\pi/8$ відповідно. В якості направляючої кривої \vec{r}_H прийнятий кубічний сплайн, що проходить через точки $M_0(2,42; 0; 0)$, $M_1(3,17; 0; 0,67)$, $M_2(3,67; 0; 2)$, $M_3(3, 5; 0; 2,83)$, $M_4(3; 0; 3,67)$, $M_5(2,33; 0; 4,25)$, $M_6(1,5; 0; 4,92)$, $M_7(1, 18; 0; 5,67)$, $M_8(0,33; 0; 6,33)$, $M_9(0; 0; 7)$.

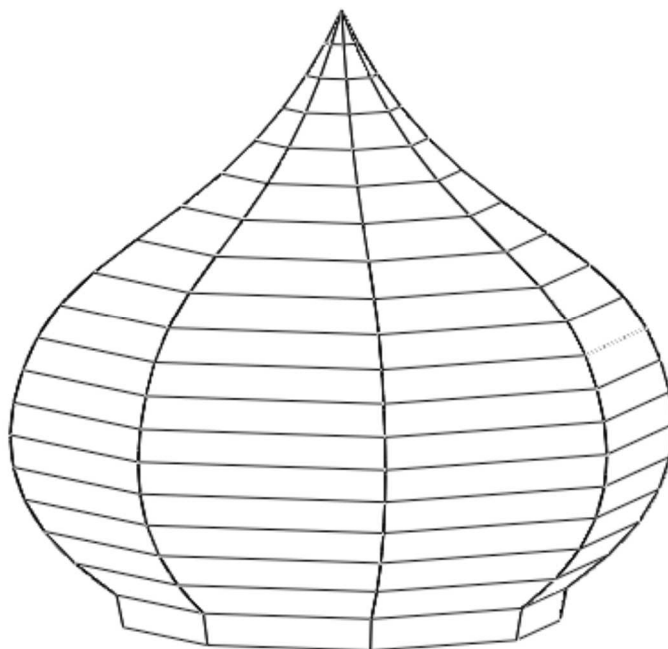


Рис. 2.15. Модель восьмигранного церковного купола

Використання методу центрально проектування для побудови конічної поверхні проілюструємо на прикладі моделі фігурного козирка. У даній моделі в якості однієї твірної кривої прийнята плоска крива, задана рівнянням:

$$r_H(\varphi) = \begin{pmatrix} (5 + 0,5 \sin 12\varphi) \cos \varphi \\ (5 + 0,5 \sin 12\varphi) \sin \varphi \\ 5 \end{pmatrix}$$

а друга твірна крива $r_{\Pi}(\varphi)$ отримана проектуванням кривої $r_H(\varphi)$ на площину, задану нормаллю до площини $\vec{n} = \{0; 0; 1\}$ і точкою $M_0(0; 0; 0)$, що належить площині. Рівняння кривої $r_{\Pi}(\varphi)$, отримане за допомогою формули (2.19) має вигляд:

$$r_{\Pi}(\varphi) = \begin{pmatrix} \frac{8}{3}(5 + 0,5 \sin 12\varphi) \cos \varphi \\ \frac{8}{3}(5 + 0,5 \sin 12\varphi) \sin \varphi \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Фігурний дашок у вигляді конічної поверхні, модель якої, отримана за допомогою формули (2.17), зображений на рис. 2.16.

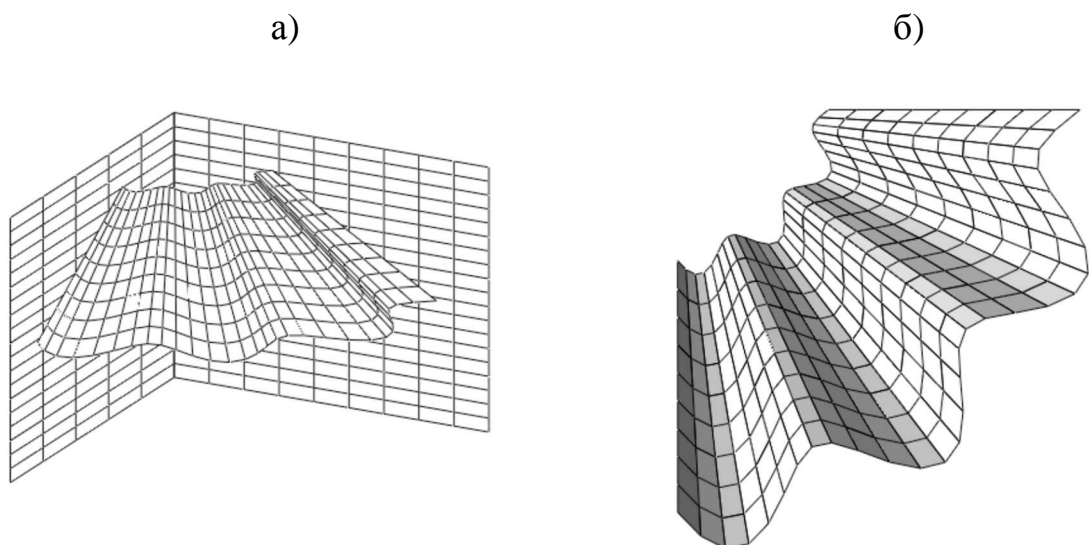


Рис. 2.16. Фігурний дашок: а - загальний вигляд; б - вид зверху

Перешкодою ускладнення геометричних форм конструкцій тривалий час було те, що розрахунок конструкції складної геометричної форми «в ручну» в достатній мірі складний, вимагає великих витрат часу. Розвиток комп'ютерної техніки та програмних комплексів систем автоматизованого проектування (САПР), дозволяють швидко і досить точно виконувати розрахунок конструкцій практично будь-якої форми, призвело до різкого збільшення кількості геометричних форм, що застосовуються при проектуванні просторових конструкцій, що простежується в історії розвитку оболонки і сітчастих (стрижневих) конструкцій. Стрижневі просторові конструкції певною мірою аналогічні суцільним конструкціям - плит, оболонки. З іншого боку - ці конструкції є подальшим розвитком плоских стрижневих конструкцій. Успішний і активний розвиток будівельних матеріалів і теорії розрахунку цих конструкцій створило необхідний «базис» для виникнення цілого спектра нових просторових конструкцій.

В цей час, в період розквіту «першої металевої революції» і виникли перші сітчасті оболонки та інші несучі конструкції на їх основі. Спочатку сітчасті оболонки найчастіше застосовувалися в промисловому будівництві. Їх використовували при перекритті виставкових павільйонів, виробничих цехів, де було потрібно з мінімальними витратами металу перекрити прольоти більше 30-40 м.

Оскільки стрижневі конструкції в деякій мірі аналогічні суцільним конструкціям, то і їх геометрична форма, в основному повторює форми суцільних конструкцій.

2.3 Висновки

Побудований клас поверхонь, які називаються регулярними коноїдами і регулярними циліндроїдами, для яких точки перетину твірної у всіх її положеннях з направляючою розподілені рівномірно, завдяки чому можливо рівномірно розташовувати армувальні елементи або елементи опалубки при проектуванні або виготовленні конструкцій.

Із використанням запропонованих алгоритмів моделювання поверхонь однопорожнинних гіперболоїдів і гіперболічних параболоїдів виконана прив'язка параметрів моделі до параметрів конструкцій.

Проведене дослідження показало, що кінематичний метод моделювання однопорожнинних гіперболоїдів і гіперболічних параболоїдів з використанням операції перенесення їх прямолінійних твірних дозволяє спростити розрахунки і технічні операції при виготовленні будівельних конструкцій на основі цих поверхонь завдяки тому, що модель дозволяє отримати координати відповідних несучих елементів.

Запропоновано моделювання конічних і циліндричних поверхонь з довільної направляючої методом центрального або паралельного проектування, що дозволяє проектувати різноманітні листові або конструкції тентів з можливістю надалі отримувати плоскі викрійки елементів конструкцій.

Розглянуті класи лінійчатих поверхонь дозволяють моделювати досить різноманітні за формою поверхні просторових конструкцій, що описуються великим числом параметрів (не тільки довжина, ширина, висота). Тому завдання визначення взаємозв'язку між параметрами моделі і параметрами конструкції не може бути вирішене в загальному вигляді. Для запропонованих лінійчатих поверхонь цю задачу вирішувати необхідно для кожного варіанту поверхні окремо, підставляючи в рівняння поверхні або направляючої кривої координати точок просторових конструкцій.

РОЗДІЛ 3. Методика та проведення розрахунку

3.1 Методика розрахунку

Однієї із найпоширеніших оболонок двоякої Гауссової кривизни є однопорожнинний гіперболоїд. В будівництві така геометрична фігура представлена у вигляді градирень.



3.17 Градирні

Такі споруди призначені для охолодження значних об'ємів води, які поступають від електростанцій. Тому для градирень по визначенню висуваються підвищені вимоги до стійкості в умовах екстремальних ситуацій, а саме при дії сейсмічних навантажень. Оскільки їх стабільна робота має безпосередній вплив на електростанції, які в свою чергу забезпечують електроенергією доволі значну кількість споживачів.

Для розрахунку частот власних коливань обрано вітчизняний розрахунковий комплекс «ЛІРА», який базується на використанні методу скінченних елементів (МСЕ).

До переваг цього комплексу слід віднести наявність української мови інтерфейсу, можливість побудови складних геометричних форм із застосуванням математичних формул.

Також, до переваг слід віднести можливість виведення результатів досліджень у графічній та табличній формах.

Скінченно-елементну модель побудовано на основі реальної конструкції із наступними параметрами:

- висота $h=66.8\text{м}$;
- діаметр в основі $d=52.2$;
- товщина стінки $t=15\text{см}$;
- матеріал – бетон класу C20/25.

Завантаження 1
Форма коливань у гл. с. 56

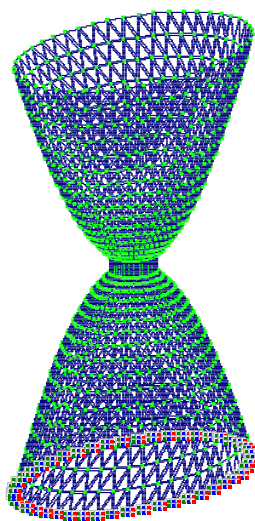
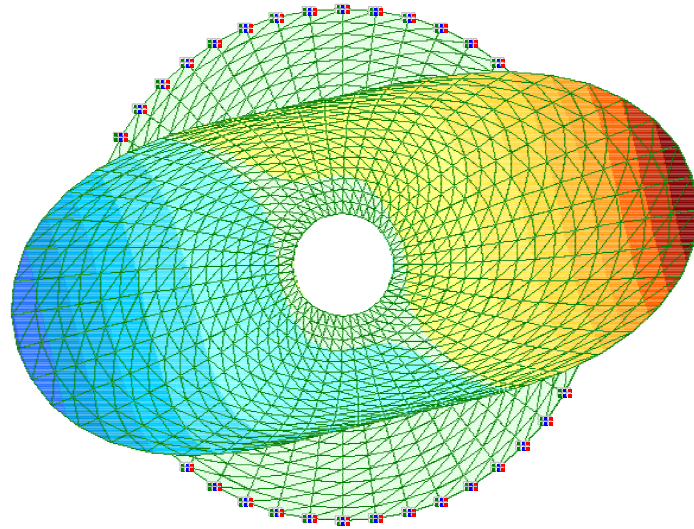
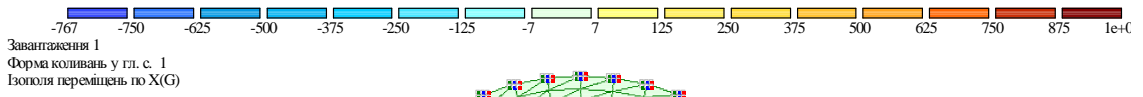


Рис.3.18 Скінченно-елемента модель однопорожнинного гіперboloїда

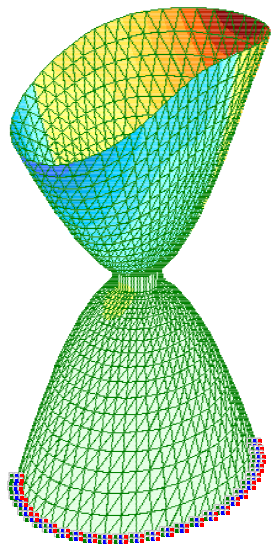
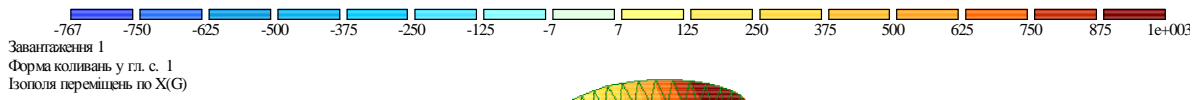
3.2 Результати розрахунків

В результаті скінченно-елементного розрахунку одержано значення частот власних коливань 57 мод(Таб.3.1). На підставі яких встановлено, що в досліджуваній споруді, при дії сейсміки не виникатиме явище резонансу до 50 моди. З 51 до 57 можливе накладання власних частот досліджуваної споруди та сейсмічного навантаження.

Також графічно наведено окремі форми коливань(Рис 3.19-3.28).



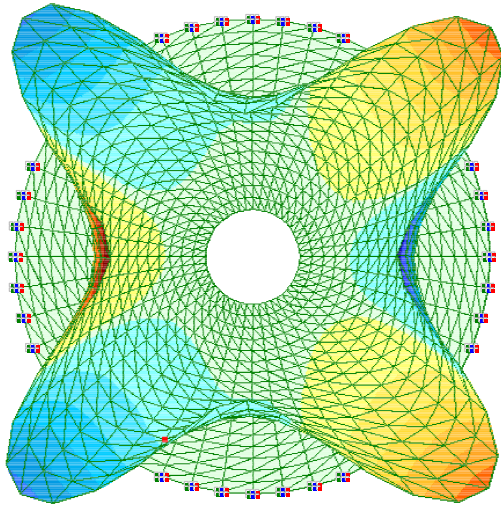
Вид зверху



Вид збоку

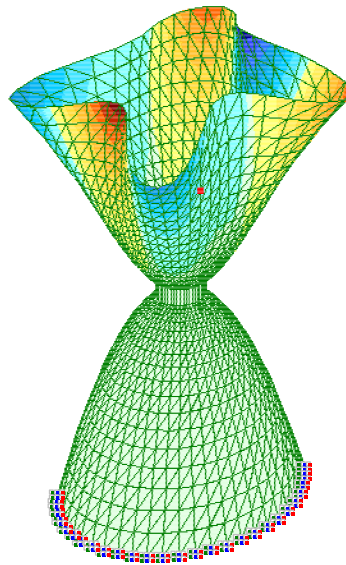
Рис.3.19 Перша форма коливань

-979 -875 -750 -625 -500 -375 -250 -125 -9 9 125 250 375 500 625 750 875 1e+003
Завантаження 1
Форма коливань у гл. с. 5
Ізополя переміщень по X(G)



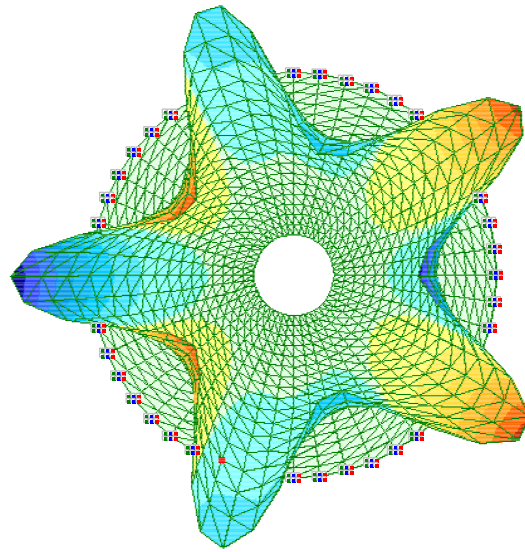
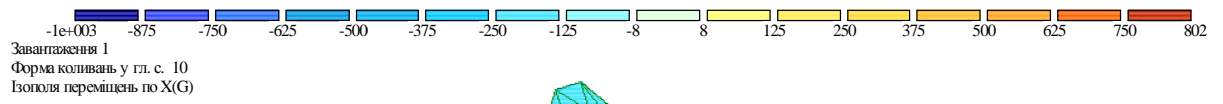
Вид зверху

-979 -875 -750 -625 -500 -375 -250 -125 -9 9 125 250 375 500 625 750 875 1e+003
Завантаження 1
Форма коливань у гл. с. 5
Ізополя переміщень по X(G)

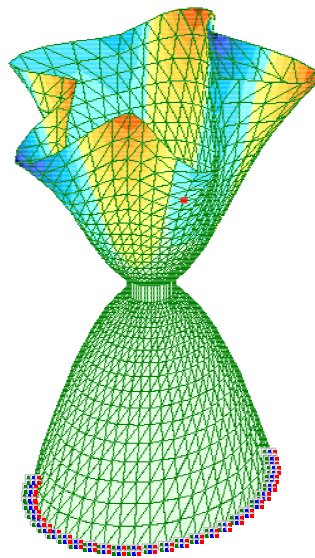
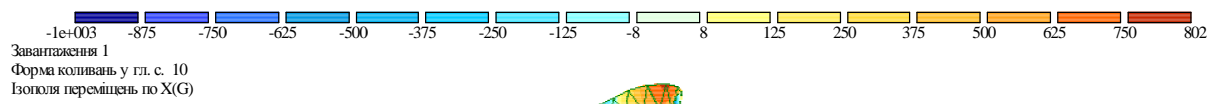


Вид збоку

Рис. 3.20 П'ята форма коливань

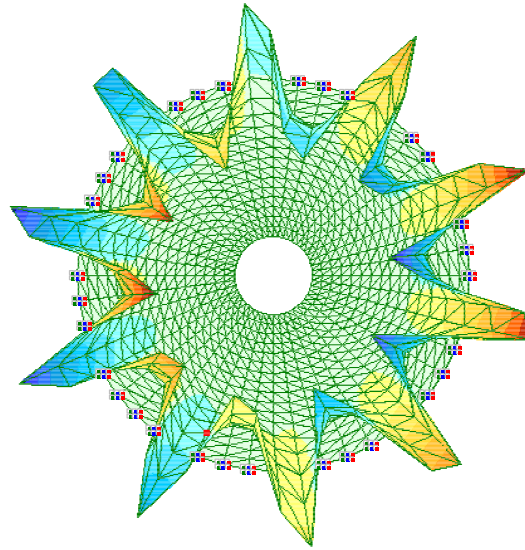
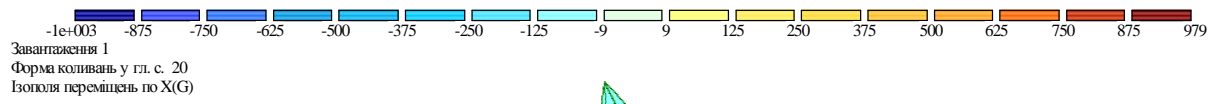


Вид зверху

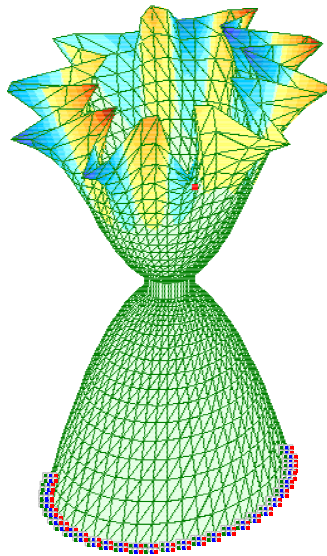
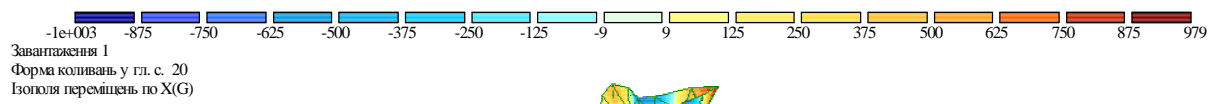


Вид збоку

Рис. 3.21 Десята форма коливань

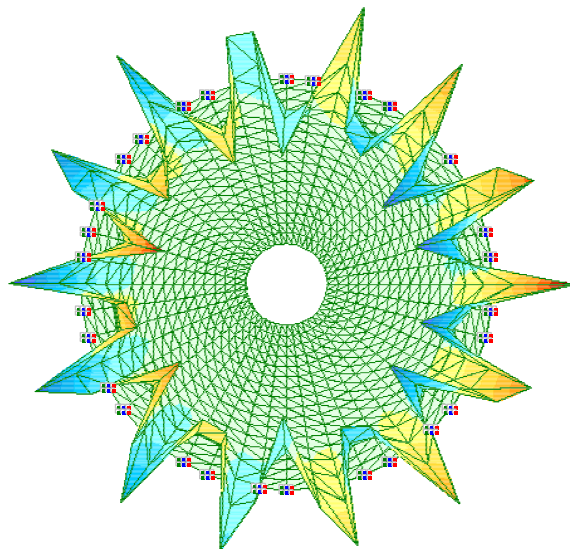


Вид зверху

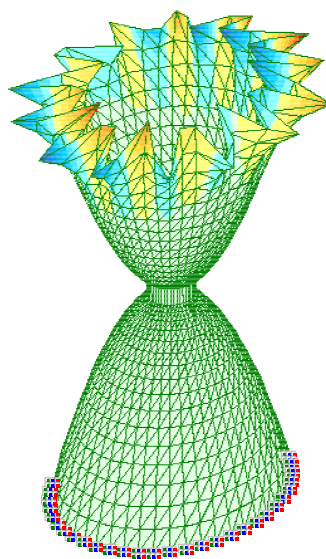
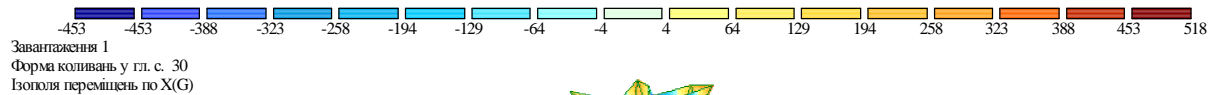


Вид збоку

Рис. 3.22 Двадцятьа форма коливань

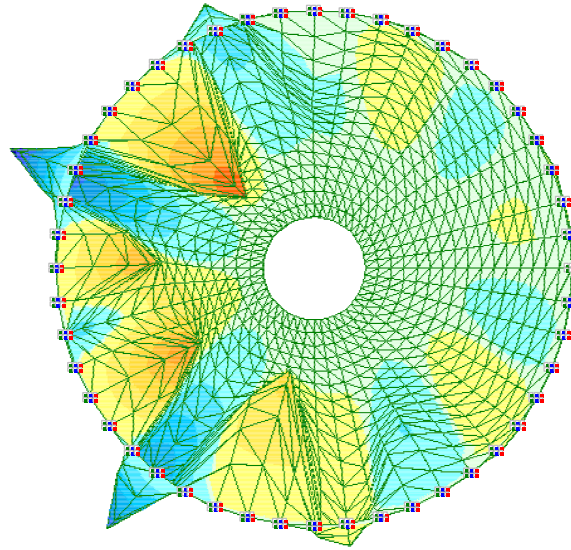
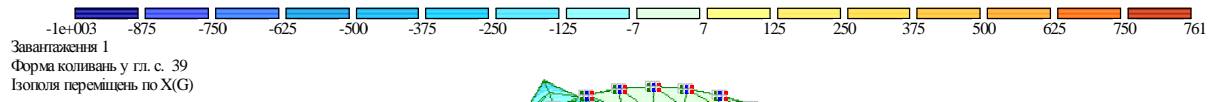


Вид зверху

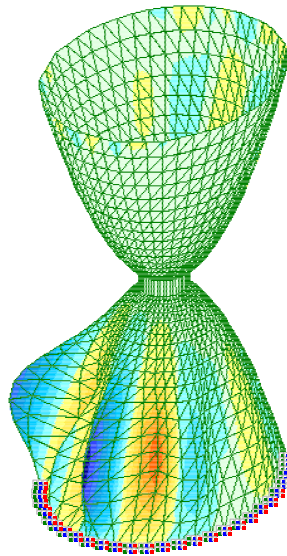
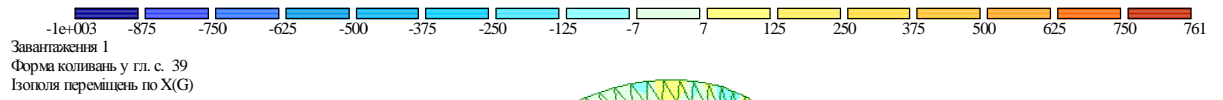


Вид збоку

Рис.3.23 Тридцята форма коливань



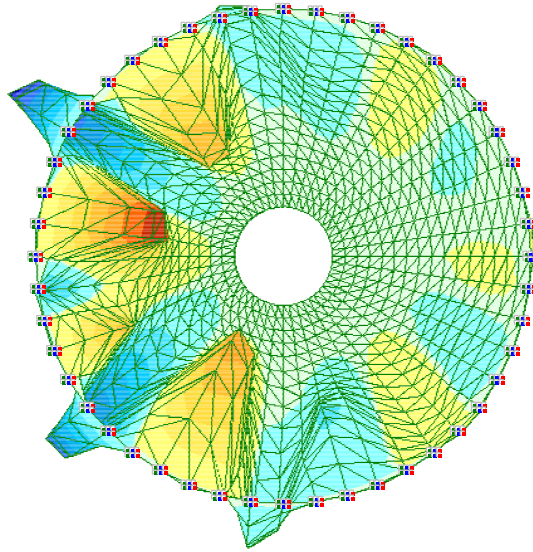
Вигляд в плані на нижню чашу



Вид збоку

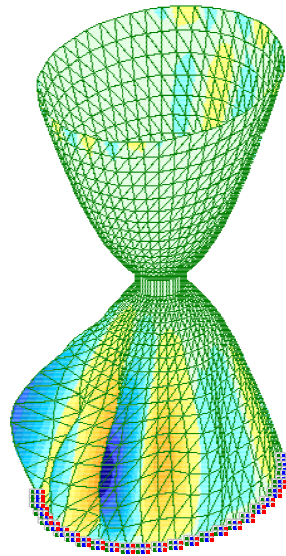
Рис.3.24 Тридцять дев'ята форма коливань

-958 -837 -718 -598 -478 -359 -239 -119 -7 7 119 239 359 478 598 718 789
Завантаження 1
Форма коливань у пл. с. 40
Ізополя переміщень по X(G)



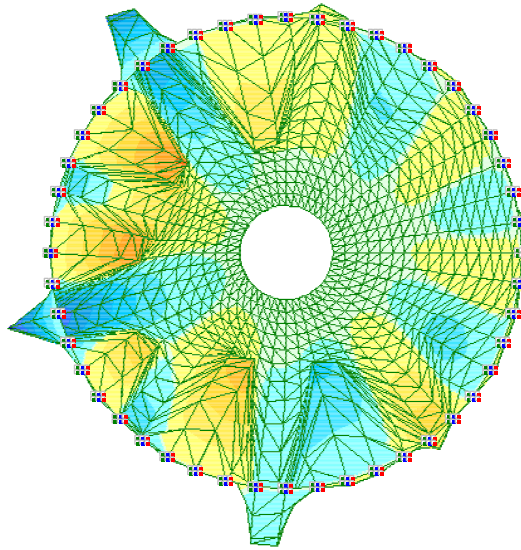
Вигляд в плані на нижню чашу

-958 -837 -718 -598 -478 -359 -239 -119 -7 7 119 239 359 478 598 718 789
Завантаження 1
Форма коливань у пл. с. 40
Ізополя переміщень по X(G)

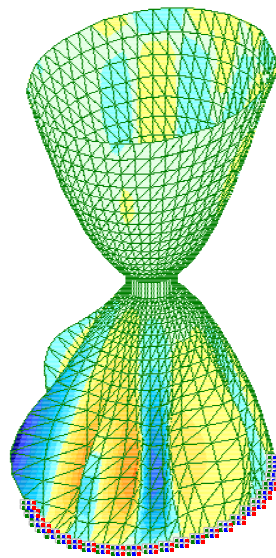
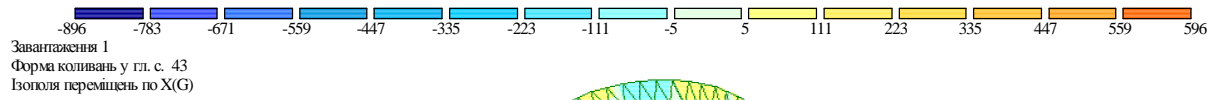


Вид збоку

Рис.3.24 Сорокова форма коливань

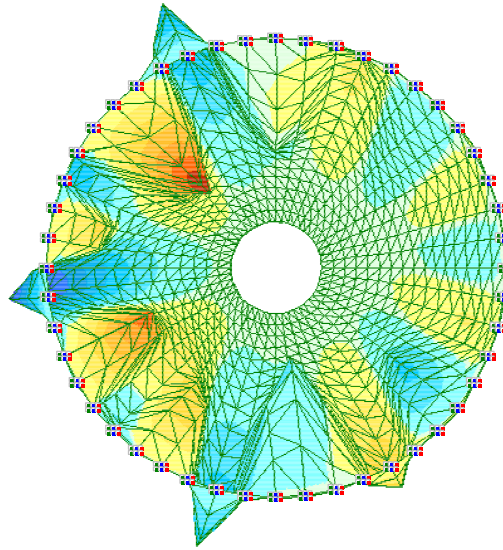
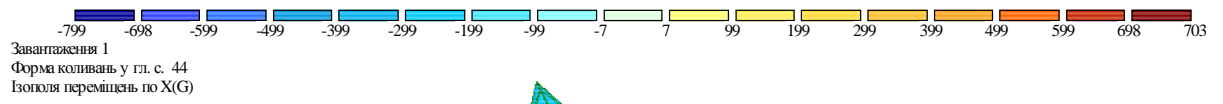


Вигляд в плані на нижню чашу

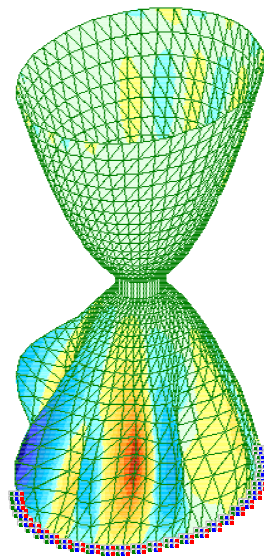
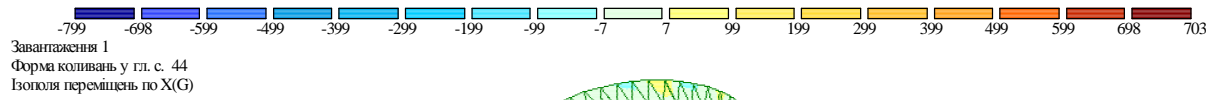


Вид збоку

Рис.3.25Сорок третя форма коливань



Вигляд в плані на нижню чашу



Вид збоку

Рис.3.26 Сорок четверта форма коливань

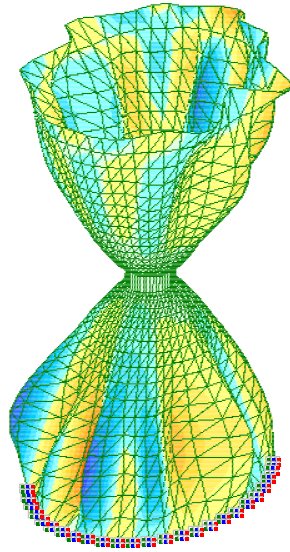
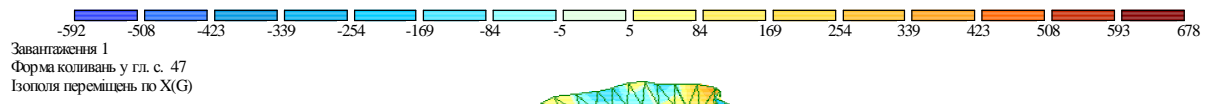


Рис. 3.27 Сорок сьома форма коливань

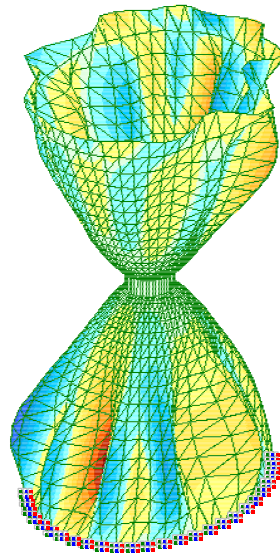
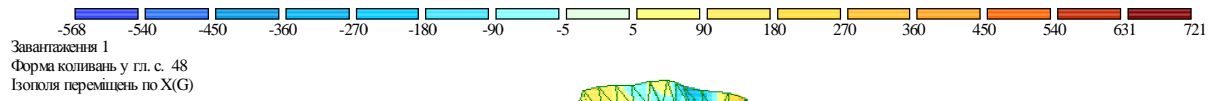


Рис. 3.28 Сорок восьма форма коливань

Табл. 3.1 Частоти власних коливань

Частоти								
№ завант	№ форми	Власні значення	Круг.частота, (рад/с)	Частота, (Гц)	Період, (с)	Коеф. розподіл.	Мод.маса, (%)	Сума мод.мас (%)
1	1	1.7	0.58	0.09	10.7	1.569	0.206	0.20
1	2	1.7	0.58	0.09	10.7	- 0.586	0.029	0.23
1	3	0.9	1.08	0.17	5.7	- 0.235	0.005	0.23
1	4	0.9	1.08	0.17	5.7	0.068	0.000	0.24
1	5	0.5	1.98	0.3	3.17	- 0.018	0.000	0.24
1	6	0.5	1.98	0.3	3.17	- 0.026	0.000	0.24
1	7	0.33	3.03	0.48	2.0	- 14.203	16.852	17.09
1	8	0.33	3.04	0.48	2.0	- 8.813	6.488	23.58
1	9	0.32	3.1	0.49	2.0	0.031	0.000	23.58
1	10	0.32	3.1	0.49	2.0	0.004	0.000	23.58
1	11	0.22	4.4	0.7	1.4	- 0.001	0.000	23.58
1	12	0.22	4.4	0.7	1.4	0.000	0.000	23.58
1	13	0.17	6.0	0.96	1.04	0.000	0.000	23.58
1	14	0.17	6.0	0.96	1.04	- 0.001	0.000	23.58
1	15	0.13	7.8	1.2	0.8	0.000	0.000	23.58
1	16	0.13	7.8	1.2	0.8	0.000	0.000	23.58
1	17	0.1	9.8	1.56	0.6	- 0.002	0.000	23.58
1	18	0.1	9.8	1.56	0.6	0.000	0.000	23.58
1	19	0.091	10.9	1.75	0.5	- 0.317	0.008	23.58
1	20	0.083	11.9	1.9	0.5	0.000	0.000	23.58
1	21	0.083	11.9	1.9	0.5	0.002	0.000	23.58
1	22	0.070	14.3	2.3	0.4	0.002	0.000	23.58
1	23	0.070	14.3	2.3	0.4	- 0.001	0.000	23.58
1	24	0.059	16.8	2.7	0.37	- 0.002	0.000	23.58
1	25	0.059	16.8	2.7	0.37	0.009	0.000	23.58
1	26	0.051	19.5	3.1	0.32	0.010	0.000	23.58
1	27	0.051	19.5	3.1	0.32	- 0.013	0.000	23.58
1	28	0.051	19.7	3.14	0.31	0.151	0.002	23.59
1	29	0.051	19.7	3.14	0.31	0.128	0.001	23.59
1	30	0.045	22.2	3.54	0.28	- 0.025	0.000	23.59
1	31	0.045	22.2	3.54	0.28	- 0.025	0.000	23.59
1	32	0.041	24.3	3.9	0.25	- 0.338	0.010	23.60
1	33	0.041	24.3	3.9	0.25	0.141	0.002	23.60
1	34	0.040	24.8	3.95	0.25	16.986	24.103	47.70
1	35	0.040	25.0	3.98	0.25	- 0.850	0.060	47.76
1	36	0.040	25.0	3.98	0.25	0.252	0.005	47.77
1	37	0.039	25.4	4.04	0.24	- 0.278	0.006	47.77
1	38	0.039	25.4	4.04	0.24	- 0.085	0.001	47.77

Продовження таб.3.1

1	39	0.039	25.8	4.1	0.24	0.006	0.000	47.77
1	40	0.039	25.8	4.1	0.24	0.162	0.002	47.78
1	41	0.037	26.9	4.3	0.23	- 0.101	0.001	47.78
1	42	0.037	26.9	4.3	0.23	0.093	0.001	47.78
1	43	0.037	27.1	4.32	0.23	- 0.078	0.001	47.78
1	44	0.037	27.1	4.32	0.23	- 0.032	0.000	47.78
1	45	0.036	27.7	4.41	0.227	- 0.063	0.000	47.78
1	46	0.036	27.7	4.41	0.227	0.014	0.000	47.78
1	47	0.035	28.3	4.51	0.222	0.019	0.000	47.78
1	48	0.035	28.3	4.51	0.222	- 0.016	0.000	47.78
1	49	0.035	28.3	4.51	0.222	- 0.031	0.000	47.78
1	50	0.035	28.3	4.51	0.222	0.037	0.000	47.78
1	51	0.034	29.3	4.6	0.214	0.000	0.000	47.78
1	52	0.034	29.6	4.72	0.212	0.086	0.001	47.78
1	53	0.034	29.6	4.72	0.212	- 0.144	0.002	47.78
1	54	0.033	30.2	4.8	0.207	- 0.048	0.000	47.78
1	55	0.033	30.5	4.87	0.205	- 0.304	0.008	47.79
1	56	0.033	30.7	4.89	0.204	- 0.158	0.002	47.79
1	57	0.032	30.7	4.9	0.204	- 0.132	0.001	47.79

Відповідно до графічного зображення мод коливань, встановлено, що із збільшенням частоти власних коливань збільшується кількість півхвиль. Також виявлено, що з 1 по 39 моду спостерігаються коливання тільки верхньої чаші гіперболоїда, в 39,40,43,44 модах спостерігаються посегментні коливання нижньої чаші. З 47 по 55 моди відбуваються збурення по всій поверхні гіперболоїда. З 56 помітні коливання тільки в нижній чаші.

3.3. Висновки до розділу

Отримано значення частот власних коливань для 57 мод. Виявлено, що з 50 моди можливе виникнення резонансу.

На підставі графічних зображень мод, встановлено особливості коливань окремих діапазонів мод.

РОЗДІЛ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Основні положення щодо охорони праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці.

Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Вирішення питань про охорону праці та здоров'я трудящих на будівельному майданчику є найважливішим завданням. При вирішенні завдань необхідно чітко представляти сутність процесів і відшукати способи (найбільш підходящі до кожного конкретного випадку), що усувають вплив на організм шкідливих і небезпечних факторів і унеможливають травматизм і професійні захворювання.

4.1.2 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог[6]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва.

Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони

праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни.

Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;
- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;
- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;
- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;
- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;
- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;
- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;
- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;
- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;

- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.

4.1.3 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами:

- захисно-охоронними, призначеними для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки з небезпечними та шкідливими виробничими факторами та забезпечення збереження матеріальних цінностей;
- захисними, призначеними лише запобігання доступу сторонніх осіб у ділянки з небезпечними виробничими чинниками;
- сигнальними, призначеними для попередження про межі територій та ділянок з небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Панелі огорож повинні бути прямокутними зі стандартною довжиною $L=1,2; 1,6; 2,0$ м. Відстань між суміжними елементами огороження заповнення полотна панелей має бути 80...100 мм. Відстань між стійками сигнальних огорож не більше бм.

4.1.4 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

При організації будівельного майданчика, розміщення ділянок робіт, робочих місць, проїздів будівельних машин, транспортних засобів, проходів для людей слід встановити небезпечні для людей зони, у яких постійно діють або потенційно можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

Згідно [6] до зон небезпечних виробничих факторів відносяться зони:

- у смузі шириною до 2-х метрів по периметру від не захищених перепадів за висотою на 1,3 м і більше;

- у місцях переміщення машин та обладнання або їх робочих органів та відкритих частин, що рухаються або обертаються;
- у місцях, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами;
- поблизу від відкритих неізольованих струмопровідних частин електроустановок та ЛЕП;
- у місцях, де рівні шуму, вібрації чи забруднення повітря робочої зони перевищують гігієнічні норми:

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів відносяться:

- монтажні зони - ділянки території поблизу будівлі або споруди, що будується;
- поверхи (яруси) будівель та споруд в одній захватці, над якими відбувається монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання.

4.1.5 Організація безпечних умов праці земляних робіт

Для забезпечення безпечних умов виконання земляних робіт необхідно дотримуватися наступних основних умов безпечного виконання робіт:

- Земляні роботи у зоні розташування діючих підземних комунікацій можуть проводитися лише з письмового дозволу організацій, відповідальних їх експлуатацію.
- Технічний стан землерийних машин повинен регулярно перевірятись із своєчасним усуненням виявлених несправностей. Екскаватор під час роботи необхідно розташовувати на спланованому місці.
- Під час роботи екскаватора забороняється перебування людей у межах призми обвалення та в зоні розвороту стріли екскаватора.
- Завантаження автомобілів екскаватором проводиться так, щоб ківш подавався збоку або ззаду кузова, а не через кабінку водія. Пересування екскаватора із завантаженим ковшем забороняється.

4.1.6 Організація безпечних умов праці бетонних робіт

Для забезпечення безпечних умов виконання бетонних робіт необхідно дотримуватися таких основних умов безпечного виконання робіт:

- опалубку, що застосовується для зведення монолітних залізобетонних конструкцій, необхідно виготовляти та застосовувати відповідно до проекту виконання робіт, затвердженого у відповідному порядку.
- При встановленні елементів опалубки на кілька ярусів кожен наступний ярус слідує встановлювати лише після закріплення нижнього ярусу.
- При виробництві опалубних, арматурних, бетонних та розпалубних робіт необхідно стежити за кріпленням лісів та риштування, їх стійкістю, правильним улаштуванням настилів, сходів, поручнів та огорож.
- Щитову опалубку колон, ригелів, перекриттів і стін з пересувних драбин допускається встановлювати при висоті над рівнем землі або нижчим перекриттям не більше 5,5 м.
- Працювати на висоті від 5,5 до 8 м дозволяється тільки з пересувних риштування, що мають нагорі майданчик з огорожами.
- Стан зібраних панелей та блоків опалубки, робочих настилів, навісних майданчиків та сходів на захватках щодня перед початком робіт перевіряє особа, відповідальна за виконання робіт та робить відповідну запис у журналі охорони праці та протипожежної охорони.
- Усі робочі настили та перехідні сходи мають бути надійно закріплені відповідно до проекту.
- Роботи на незакріплених підмостках суворо заборонені.
- До монтажу не допускається опалубка з несправними замками, петлями, захватами, великими люфтами у шарнірах та замках. Виявлені несправності слід усувати негайно.
- До початку монтажу опалубки міцність нижчих несучих монолітних конструкцій повинна бути не нижче 70% проектної.
- Всі прорізи повинні бути закриті інвентарними щитами або захищені.

- До початку монтажу опалубки необхідно перевірити надійність з'єднання елементів опалубки, що входять до складу вузла, що піднімається, переконавшись у відсутності незакріплених предметів на елемент опалубки, що переноситься.

- Не допускається виконувати монтажні роботи на висоті у відкритих місцях при швидкості вітру 15 м/с і більше, при ожеледиці, грозі або тумані, що виключає видимість у межах фронту робіт. Роботи з переміщення та встановлення вертикальних панелей та подібних до них конструкцій з великою вітрильністю слід припиняти при швидкості вітру 10 м/с і більше.

- Зняття елементів опалубки проводити тільки після належного їх закріплення або установки, що виключає мимовільне переміщення.

- Панелі та блоки піднімати лише після їх повного звільнення від кріпильних елементів та відриву від бетону. Окремі панелі, крім підкосів, повинні зміцнюватися ланцюговими відтяжками для запобігання перекиданню. Особливу увагу звернути на стропування та підйом блоків опалубки. Щоб уникнути заклинювання блоку при вилученні його з комірки, блок при підйомі має бути строго вертикальним.

- Робочі місця мають бути огорожені інвентарними огорожами. Ву разі відсутності огорожі робітники повинні користуватися запобіжними поясами. Місця прикріплення поясів вказуються виробником робіт та яскраво забарвлюються.

- При монтажі під елементами опалубки заборонено.

- Під час грози та при вітрі силою 6 балів і більше (тобто при швидкості вітру понад 9,9 м/с) виконувати бетонні та залізобетонні роботи із зовнішніх лісів забороняється.

- Арматурні вироби слід переміщувати та встановлювати лише у рукавицях. Армовані ділянки, які можуть бути під струмом, необхідно заземлити. Не дозволяється залишати без закріплення встановлену арматуру.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Оцінка стійкості об'єкта будівництва від надзвичайних ситуацій природнього характеру

Зведення багатьох об'єктів будівництва в даний час неможливо без урахування їх реакції на сейсмічні навантаження. Дослідження їх міцності експериментальними методами без глибокого теоретичного аналізу не дає необхідних результатів.

4.2.2 Коротка характеристика впливу надзвичайних ситуацій природнього характеру

В Україні щороку виникає від 100 до 300 надзвичайних ситуацій природнього походження. Стихійні лиха — це небезпечні природні явища, процеси атмосферного, гідрологічного, геологічного, біосферного або іншого походження таких масштабів, які призводять до катастрофічних ситуацій з раптовим порушенням систем життєдіяльності населення, руйнуванням і знищенням матеріальних цінностей, об'єктів народного господарства, що у свою чергу може спричинити аварії й катастрофи. Справжнім лихом є землетруси, повені, зсуви, селеві потоки, бурі, урагани, снігові заноси, пожежі лісів, торфу, полів і населених пунктів. Тільки за останні 20 років вони забрали життя більше трьох мільйонів чоловік. За даними ООН, за цей період майже один мільярд жителів нашої планети потерпіли від стихійних лих. Для ліквідації їх наслідків залучаються сили і засоби цивільного захисту, часто значна частина населення і військові формування, а на відповідні роботи витрачаються багато сил і великі матеріальні кошти. Кожне стихійне лихо має свої причини виникнення, притаманні тільки йому особливості впливу на навколишнє середовище, фізичну суть і рушійні сили. Проте їм характерні й загальні властивості — це великий просторовий захват, сильна психологічна дія на населення і значний вплив на навколишнє середовище. Знаючи характер стихійних лих, причини їх виникнення, можна завчасно вжити заходів і тим

самим запобігти деяким з них або значно зменшити їх руйнівний вплив, спланувати правильні дії населення для проведення рятувальних робіт. Велике значення має проведення профілактичних робіт з метою запобігання збиткам від стихії або зменшення їх. Важливо своєчасно провести роботи, спрямовані на локалізацію стихійного лиха, щоб зменшити зони руйнувань, скоротити до мінімуму збитки і своєчасно надати допомогу потерпілим. В Україні найчастіше спостерігаються такі надзвичайні ситуації природного походження: — небезпечні геологічні явища: зсуви, обвали, осипки, просадки земної поверхні різного походження; — небезпечні метеорологічні явища: зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь; — небезпечні гідрологічні явища: повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод; — природні пожежі лісових та торф'яних масивів; — масові інфекції та хвороби людей, тварин, рослин.

4.2.3 Заходи при землетрусі

Землетруси починаються раптово і охоплюють значні території. Руйнування будівель, зсуви і обвали крутих схилів є головними причинами людських жертв і великих матеріальних збитків при сильних землетрусах. Сейсмічними вважають райони, де зареєстровані або теоретично очікувані землетруси у 6 балів та вище. Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зведено до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних по-рушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Неприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті

породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

4.2.4 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта

Одне з основних завдань в області цивільного захисту ЦЗ - проведення заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу. Під стійкістю функціонування будівельного об'єкта розуміють здатність його в надзвичайних ситуацій виконувати покладену на нього функцію, а при отриманні слабких і середніх руйнувань або порушенні зв'язків з постачання, відновлювати виконання покладеної функції в мінімальні терміни. Розглянутий мною об'єкт будівництва є не стійким до дії ударних хвиль, тому що розглянуті мною безкаркасні арочні ангари мають невелику товщину стінки і власну вагу, що не забезпечує належної стійкості будівлі, отже, необхідно розробляти низку заходів щодо підвищення його стійкості. Для цього необхідно зробити наступне: 1. Підвищити стійкість промислової споруди шляхом встановлення більш міцного металевого каркасу, встановлення більш міцних рам для дверей і вікон, зменшення прольоту несучих конструкцій, а також зміцнення стін будівлі більш міцними матеріалами. 2. Для підвищення стійкості кранів та кранового обладнання до впливу ударної хвилі доцільно забезпечити їх жорстку фіксацію на міцному фундаменті, розташовувати устаткування за міцними елементами будівлі і споруд на ймовірному напрямку дії ударної хвилі, забезпечити додаткові точки фіксації і кріплення. Також необхідно встановлювати контрфорси, що

підвищують стійкість обладнання до дії швидкісного напору ударної хвилі. 3. Для підвищення стійкості кабельних наземних ліній слід помістити їх під землю, також можливе їх зміцнення за рахунок укладання їх всередину, а також за рахунок застосування броньованих кабелів.

4.2.5 Системи сейсμοзахисту будівель і споруд

Загальна класифікація систем сейсμοзахисту споруд представлена на рис. 4.2. Вона складається з традиційних методів забезпечення сейсмосійкості та спеціальних засобів сейсμοзахисту.

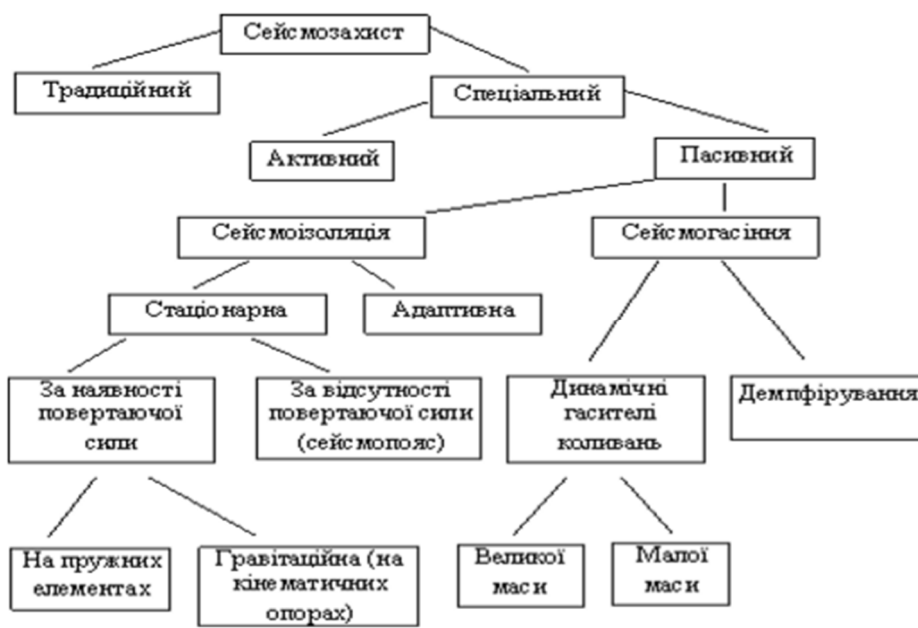


Рисунок 4.2 - Загальна класифікація систем сейсμοзахисту споруд

ВИСНОВКИ

В процесі дослідження поведінки однопорожнинного гіперболоїда виконано наступне :

- виявлено описи математичних моделей основних оболонок двоякої Гаусової кривизни та тентових оболонок;

- розроблено скінченно-елементну об'ємну модель однопорожнинного гіперболоїда;

- на основі розробленої скінченно-елементної об'ємної моделі однопорожнинного гіперболоїда проведено розрахунок частот та періодів власних коливань;

- встановлено, що з 50 моди реальна конструкція може вступати і резонанс із сейсмічним навантаженням;

- виявлено, що з 1 по 39 моду спостерігаються коливання тільки верхньої чаші гіперболоїда, в 39,40,43,44 модах спостерігаються посегментні коливання нижньої чаші. З 47 по 55 моди відбуваються збурення по всій поверхні гіперболоїда. З 56 моди помітні коливання тільки в нижній чаші;

- розроблено заходи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Список літератури

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи К.: Мінбуд України, 2006.
3. ДБН В.1.17-2002 Пожежна безпека об’єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003.
4. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
5. Malezhyk, M.P., Pidhurs’kyi, M.I., Rudyak, Y.A., Pidhurs’kyi, I.M. & Voitovych, L.V. (2019) Investigation of the Fracture of an Orthotropic Plate with Circular Hole and Two Edge Cracks Under Pulsed Loading by the Method of Dynamic Photoelasticity. *Materials Science*, 55(2). P. 254-258.
6. Pidgurskyi, Mykola & Rudyak, Yuri & Pidgurskyi, Ivan. (2019). Research and Modeling of Stress-Strain State and Fracture Strength of Triplexes at Temperatures 293–213K. // *Lecture Notes in Mechanical Engineering SerProceedings of the 7th International Conference on Fracture Fatigue and Wear.*, Belgium, Ghent University, 2018. – P.135-150.
7. Pidgurskyi I. Analysis of stress intensity factors obtained with the fem for surface semielliptical cracks in the zones of structural stress concentrators // *Scientific Journal of TNTU*. - Ternopil: TNTU, 2018. - Vol. 90. - No 2. - P. 92-104. (Index Copernicus, Google Scholar)
8. Maruschak P., Degradation and cyclic crack resistance of continuous casting machine roll material under operating temperatures / P. Maruschak, D. Baran // *Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering*. - 2011. - Vol. 35. - M2. - P. 159-165.
9. Ігнат’єва В.Б. Аналіз способів поліпшення теплотехнічних характеристик при будівництві будівель / В.Б. Ігнат’єва, Е.О. Текін // *ΛΟΓΟΣ*.

Мистецтво наукової думки, 2019. - Vol. 3. – С. 97-100. Режим доступу: <https://ojs.ukrlgos.in.ua/index.php/2617-7064/article/view/306/293> 44. Ignatyeva, V. B. (2018).

10. Yasniy, P.V., Mykhailyshyn, M.S., Pyndus, Y.I. et al. Numerical Analysis of Natural Vibrations of Cylindrical Shells Made of Aluminum Alloy. *Mater Sci* 55, 502–508 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00331-2>

11. Yasniy P., Pyndus Y., Hud M. Methodology for the experimental research of reinforced cylindrical shell forced oscillations. *Scientific journal of the Ternopil national technical university*. 2017. Vol. 86. №. 2. P. 7–13

12. Ковальчук Я. Теплоізоляційні будівельні матеріали з місцевих технологічних відходів / Я. Ковальчук, Г. Крамар, Л. Бодрова, І. Коваль, С. Мариненко // Наукові нотатки. - 2019. - Вип. 66. - С. 165-171.

13. Mykhailo Hud, Simulation of the stress-strain state of a cylindrical tank under the action of forced oscillations, *Procedia Structural Integrity*, Volume 36, 2022, Pages 79-86, ISSN 2452-3216, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.006>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321622000063>)

14. Ігнат'єва В.Б. Пристрій для формування стрижневих виробів з композиційних матеріалів / В.Б. Ігнат'єв, В.Б. Ігнат'єва. Патент на корисну модель № 86097, Україна, МПК (2013) В29С 55/00. Заявка № u 201308540; заявл. 08.07.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.

15. Ігнат'єва В.Б. Віконна система / В.Б. Ігнат'єва. Патент на корисну модель № 136285, Україна, МПК (2020) Е06В 3/00, МПК (2006) Е06В 3/68. Заявка № u 201902231; заявл. 05.03.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15.

16. Ігнат'єва В.Б. Віконна система / В.Б. Ігнат'єва. Патент на корисну модель № 142702, Україна, МПК (2020) Е06В 3/00, МПК (2006) Е06В 3/68. Заявка № u 201911664; заявл. 05.12.2019; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12.

17. Ігнат'єва В.Б. Віконна система / В.Б. Ігнат'єва. Патент на корисну модель № 142703, Україна, МПК (2020) Е06В 3/00, МПК (2006) Е06В 3/68. Заявка № u 201911666; заявл. 05.12.2019; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12.