

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кафедра будівництва

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт із дисципліни
«Основи автоматизованого проєктування в будівництві»
для студентів за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Частина 1**

**Основи проєктування конструкцій будівель та споруд
у програмному комплексі «ЛІРА-САПР»**

Київ-2021

УДК 624.04:004.42(072)

Методичні вказівки містять приклади розрахунку та проектування будівельних конструкцій у складі розрахункових схем будівель та споруд у програмному комплексі «ЛІРА САПР».

Рекомендовано Вченою радою факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 3 від 19 жовтня 2021 р.).

Автори: Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко

Рецензенти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри будівництва *Мар'єнков Микола Григорович*;
кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри механіки *Куценко Анастасія Григорівна*

Навчально-методичне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни
"Основи автоматизованого проектування в будівництві"
для студентів за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

**Автори: ДМИТРЕНКО Євген Анатолійович,
ЯКОВЕНКО Ігор Анатолійович,
ФЕСЕНКО Олег Анатолійович**

Відповідальний за випуск – ст. викладач Є.А. Дмитренко

Підписано до друку 06.04.23

Формат 60x84\16.

Ум. друк. арк. 5,4

Наклад 100 пр.

Зам. № 230188.

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України.

Вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041

Тел. 527-81-55

Загальні вказівки

Основи розрахунку будівельних конструкцій за методом скінченних елементів є складовим компонентом дисципліни «*Основи автоматизованого проектування в будівництві*», яку вивчають студенти освітньо-професійної програми ОС «Бакалавр» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

У методичних вказівках передбачено вивчення методики розрахунку та конструювання будівельних конструкцій за допомогою програмного комплексу (ПК) «ЛІРА-САПР». Вони містять наступні *завдання*:

- опанувати вимоги чинних нормативних актів і нормативних документів (ДБН, ДСТУ, EN, ТУ) щодо вимог проектування будівельних конструкцій [1–3];
- набути навичок створення, розрахунку та аналізу розрахункових схем стержньових конструкцій у ПК «ЛІРА-САПР» [4, 5, 7];
- набути навичок автоматизованого конструювання перерізів елементів будівельних конструкцій та аналізу їхнього НДС [4, 5, 7].

Методичні вказівки «Основи проектування конструкцій будівель та споруд у програмному комплексі “ЛІРА-САПР» містять *п'ять лабораторних робіт*, в яких у доступній стислій формі розглянуто алгоритми моделювання та розрахунку будівельних конструкцій методом скінченних елементів (МСЕ) за допомогою ПК «ЛІРА-САПР», що має першочергове значення для майбутнього фахівця у галузі будівництва.

Успішне виконання будь-якої лабораторної роботи можливе при дотриманні вимог діючих нормативних документів [1–3] із використанням довідкової літератури [6, 8, 9, 14].

У списку джерел приведений актуальний перелік наукової літератури, аналіз якого показує, що будь-яка неординарна та цікава інженерна задача може бути вирішена за допомогою не лише за допомогою аналітичних моделей [11, 13, 17, 19], але й шляхом чисельного моделювання [10, 11, 16, 18], спираючись у тому числі на ПК «ЛІРА-САПР» [12, 15, 16, 18, 20–22].

Лабораторна робота № 1.

Розрахунок статично визначеної балки

Мета роботи: побудова епюри внутрішніх зусиль – згинальних моментів M і поперечних сил Q статично визначеної сталевий та/або залізобетонної балки.

Хід виконання роботи:

1. Визначитись із кількістю ділянок балці по завданню.
2. Створити задачу, задати відповідну ознаку схеми. Для заданої задачі підходять ознаки схеми 2 або 5.
3. Побудувати геометричну схему балки за допомогою команд «Створення вузлів» та «Створення елементів».
4. Задати в'язі відповідно до завдання (табл. 1.1, рис. 1.1).
5. Задати жорсткість елементів балки через меню «Жорсткість та матеріали». Можна обрати сталевий балковий двотавр №30 чи прямокутний переріз залізобетонної балки $b \times h - 20 \times 50 \text{ см}$.
6. Задати один варіант навантаження балки відповідно до завдання.
7. Виконати статичний розрахунок балки.
8. Виконати аналіз отриманих результатів. Приклад розрахунку наведено у додатку В.1.

Таблиця 1.1

Вихідні дані щодо розрахунку статично визначеної балки

Перші літери прізвища студента	Номер схеми	$a, \text{ м}$	$P, \text{ кН}$	$M, \text{ кН}\cdot\text{м}$	$q, \text{ кН/м}$
А, І, Т, Я	1	0,5	50	2,2	10
Б, Й, У	2	0,75	75	2,4	12,5
В, К, Ф	3	1,0	100	2,1	15
Г, Л, Х	4	1,25	125	2,5	17,5
Д, М, Ц	5	1,5	150	1,9	20
Е, Н, Ч	6	1,75	175	2,6	22,5
Є, О, Ш	7	2,0	200	2,0	25
Ж, П, Щ	8	2,25	225	2,3	27,5
З, Р, Ђ	9	2,5	250	2,7	30
И, С, Ю	10	2,75	275	2,8	32,5

Примітка. Вихідні дані приймати за першими буквами прізвища.

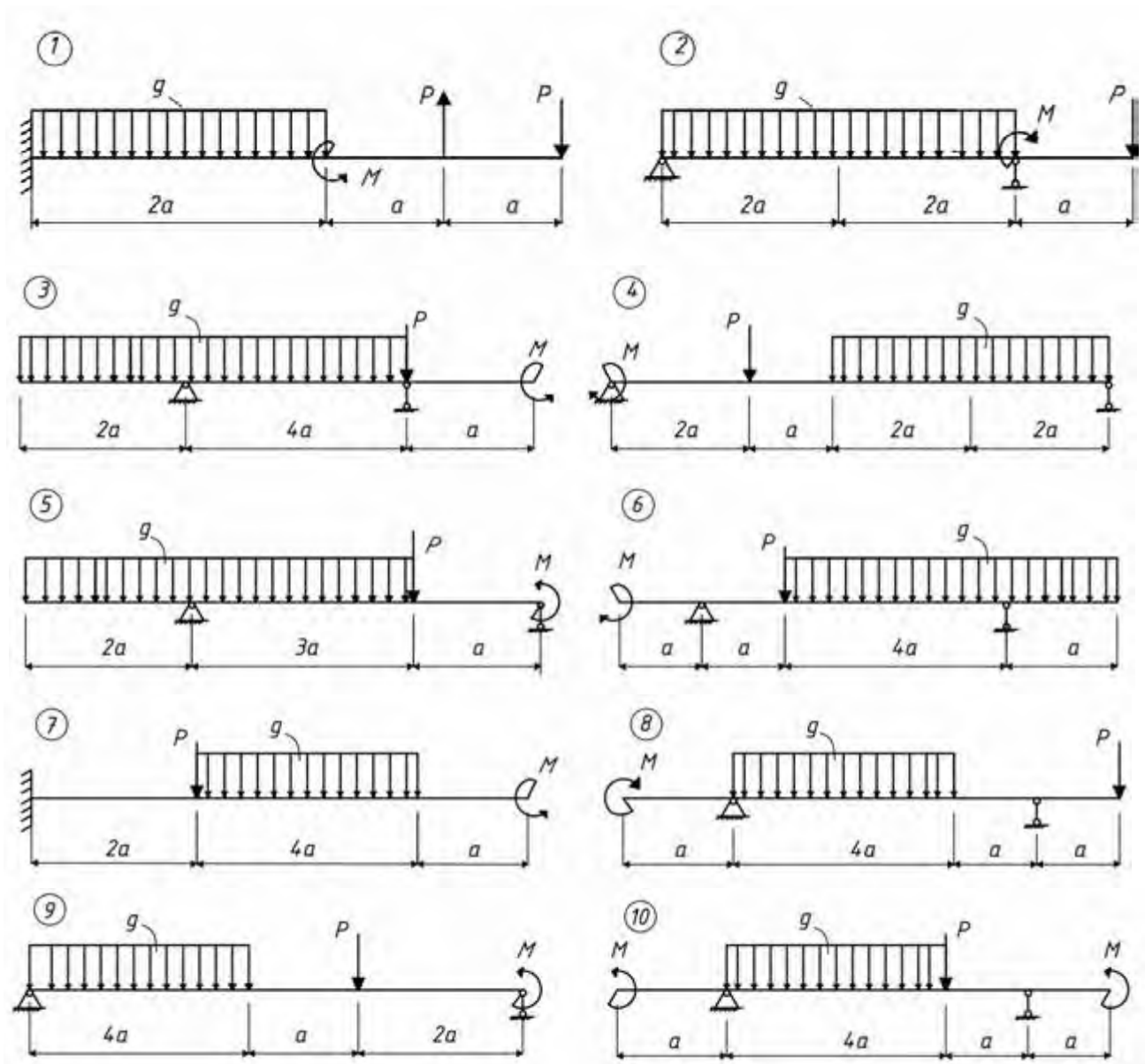


Рис. 1.1. Схеми варіантів балок до розрахунку

Контрольні запитання

1. У чому полягає алгоритм розрахунку статично визначеної балки на згин?
2. Які внутрішні силові фактори є визначальними щодо проектування балкових конструкцій?
3. Який тип кривої має еюра моментів на ділянці із рівномірно-розподіленим навантаженням? Поясніть чому.
4. Який взаєзв'язок мають еюри моментів та поперечних сил у балці?
5. Який аналітичний метод застосовують для під час побудови еюр внутрішніх зусиль?

Лабораторна робота № 2.

Розрахунок плоскої рами

Мета роботи: побудова епюр внутрішніх силових впливів – згинальних моментів M , поперечних сил Q , поздовжніх сил N в елементах плоскої рами згідно зі завданням. Аналіз адекватності підібраної моделі та правильності отриманих чисельних результатів.

Хід виконання роботи:

1. Визначитись із кількістю ділянок у рамі у відповідності до завдання.
2. Створити нову задачу, задати відповідну ознаку схеми. Для заданої задачі підходять ознаки схеми 2 або 5.
3. Побудувати геометричну схему рами за допомогою команд «Створення вузлів» та «Створення елементів».
4. Задати в'язі у відповідності до завдання (табл. 2.1., рис. 2.1).
5. Задати жорсткість елементів рами, використовуючи меню «Жорсткість та матеріали». Жорсткість задати чисельно, як для скінченного типу 2, а саме параметри жорсткості поперечного перерізу при стиску (розтязі) EA , та жорсткості поперечного перерізу при згині EI . Параметри EA стійок можна приймати такими, що дорівнюють $1 \times 10^7 \text{ кН}$, $EI = 324000 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$. Відповідні параметри EA , EI для ригелів визначаються шляхом добутку відповідних значень жорсткостей для стійок на коефіцієнти, вказані у стовпці 10, табл. 2.1.
6. Задати один із варіантів завантаження рами за схемою у відповідності до завдання.
7. Виконати статичний розрахунок рами.
8. Виконати аналіз отриманих результатів. Приклад розрахунку плоскої рами представлений у додатку В.2.

Вихідні дані щодо виконання розрахунку плоскої рами

Перші літери прізвища студента	Номер схеми	$l_1,$	$l_2,$	$l_3,$	$h_1,$	$h_2,$	α	$P,$ кН	$\frac{q,$ кН м	EI ригеля / EI стійки
		м	м	м	м	м				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А, І, Т, Я	1	4	5	18	3	4	0,25	100	60	1,2
Б, Й, У	2	5	6	16	4	5	0,5	110	55	1,4
В, К, Ф	3	6	7	14	5	6	0,75	120	50	1,6
Г, Л, Х	4	7	8	12	6	7	0,5	130	45	1,8
Д, М, Ц	5	8	9	10	7	8	0,25	140	40	2
Е, Н, Ч	6	9	10	9	8	9	0,5	150	35	2,2
Є, О, Ш	7	10	12	8	9	10	0,75	160	30	2,4
Ж, П, Щ	8	12	14	7	10	12	0,5	180	25	2,6
З, Р, Ь	9	14	16	6	12	14	0,25	200	20	2,8
И, С, Ю	10	16	18	5	14	16	0,5	220	10	3

Примітка. Вихідні дані приймати за першими буквами прізвища.

Контрольні запитання

1. У чому полягає різниця між статично-визначеними та статично-невизначеними стержневими системами (конструкціями)?
2. Які внутрішні силові фактори є визначальними щодо проектування рамних конструкцій?
3. Який тип поперечного перерізу сталеві конструкції є найбільш ефективним з точки зору використання матеріалу при роботі на згин і чому?
4. У чому полягає різниця між жорстким та шарнірним вузлом поперечної рами? Обґрунтуйте відповідь.
5. Яку кількість ступенів вільності має вузол розрахункової схеми з ознакою 2? Обґрунтуйте відповідь.

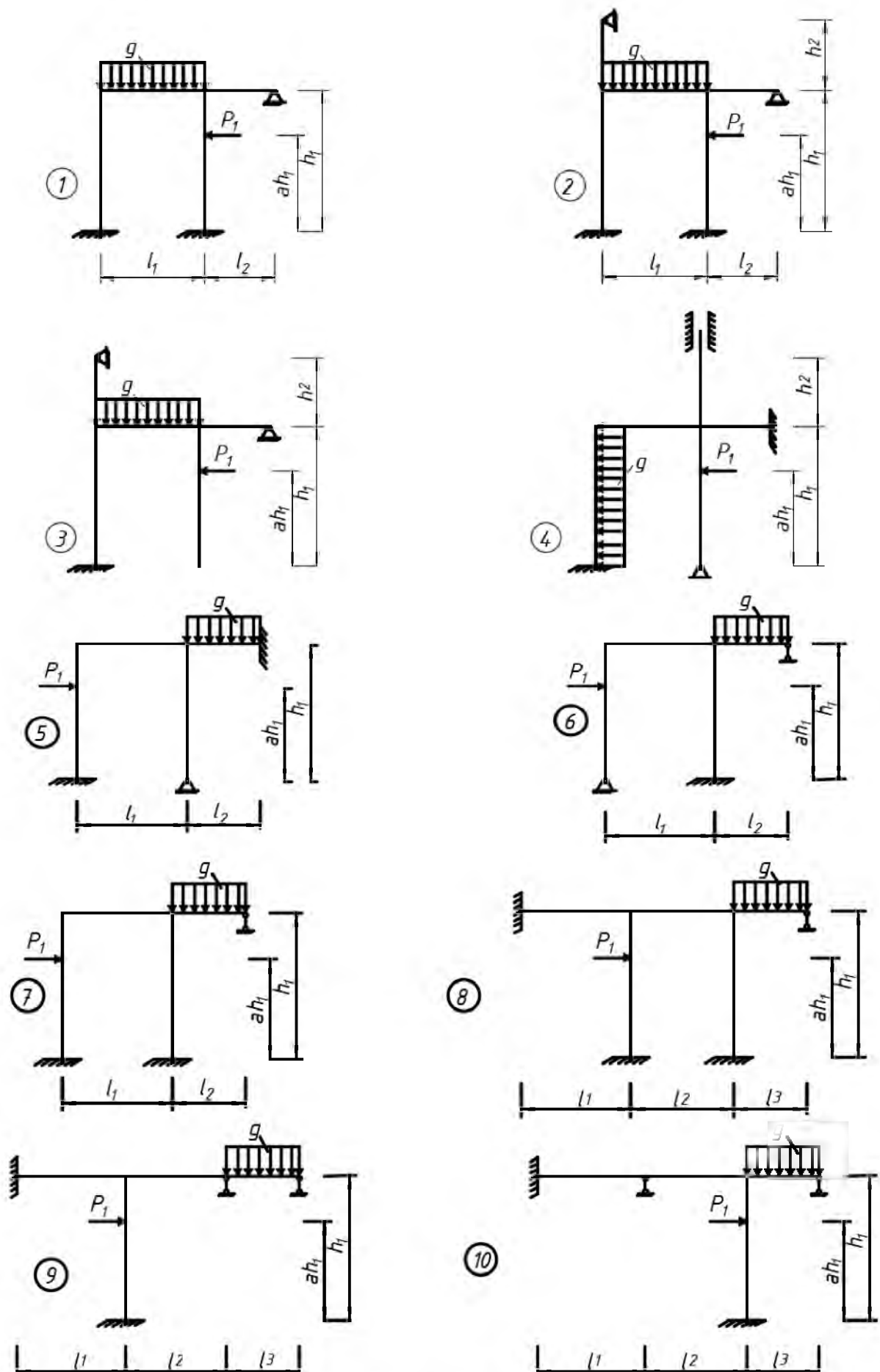


Рис. 2.1. Схеми варіантів рам до розрахунку

Лабораторна робота № 3.

Розрахунок статично визначеної сталеві ферми покриття

Мета роботи: побудова епюр внутрішніх силових факторів – згинальних моментів M , поздовжніх N та поперечних зусиль Q у плоскій сталевій фермі покриття у відповідності до завдання. Виконати аналіз адекватності правильності отриманих чисельних результатів.

Хід виконання роботи:

1. Створити нову задачу, задати відповідну ознаку схеми. Для заданої задачі підходять ознаки схеми 2 або 5.
2. Побудувати геометричну схему ферми за допомогою команд «Створення вузлів» та «Створення елементів».
3. Задати в'язі у відповідності до завдання.
4. Задати жорсткість елементів за допомогою команди «Жорсткість та матеріали». Перерізи елементів ферм приймаються зі сталевих рівнополочкових кутиків, основний матеріал конструкції ферми – сталь класу С245.
5. Задати один із варіантів навантаження сталеві ферми покриття у відповідності до завдання (табл. 3.1., рис. 3.1–рис.3.10).
6. Виконати статичний розрахунок сталеві ферми покриття – визначення поздовжніх зусиль в усіх її стержнях, які у подальшому будуть використовуватись у підборі (перевірці) поперечного перерізу її елементів.
7. Виконати аналіз напружено-деформованого стану вузлів, розкосів, верхнього та нижнього поясу сталеві ферми покриття на підставі отриманих чисельних розрахунків.
8. Приклад розрахунку статично-визначеної сталеві ферми покриття представлений у додатку В.3.

Вихідні дані для розрахункових схем ферм

Перші літери прізвища студента	Номер схеми	d , м	h , м	P_1 , кН	P_2 , кН
	1	2	3	4	5
А, І, Т, Я	1	3,0	4,0	15	60
Б, Ї, У	2	3,5	4,5	20	55
В, К, Ф	3	4,0	5,0	25	50
Г, Л, Х	4	4,5	5,5	30	45
Д, М, Ц	5	5,0	6,0	35	40
Е, Н, Ч	6	5,5	6,5	40	35
Є, О, Ш	7	6,0	6,0	45	30
Ж, П, Щ	8	6,5	5,5	50	25
З, Р, Ь	9	7,0	5,0	55	20
И, С, Ю	10	8,0	6,0	60	15

Примітка. Вихідні дані приймати за першими буквами прізвища.

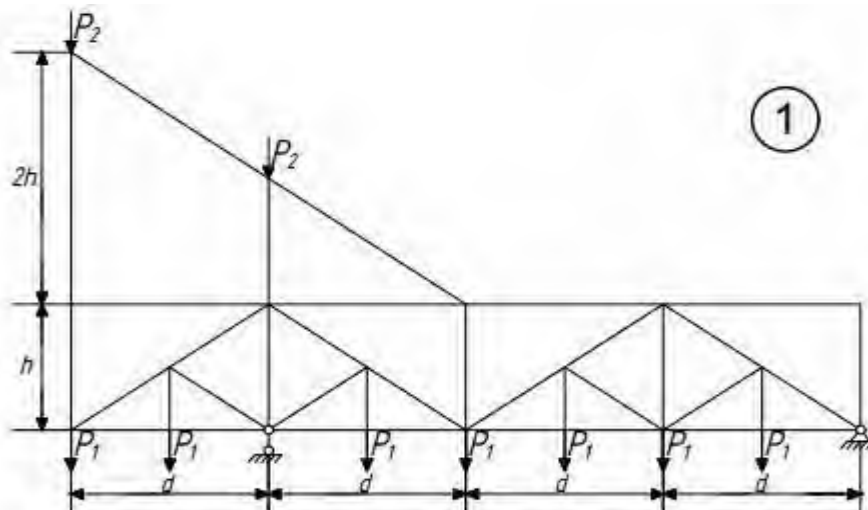


Рис. 3.1. Схема сталевій фермі покриття до розрахунку за варіантом 1

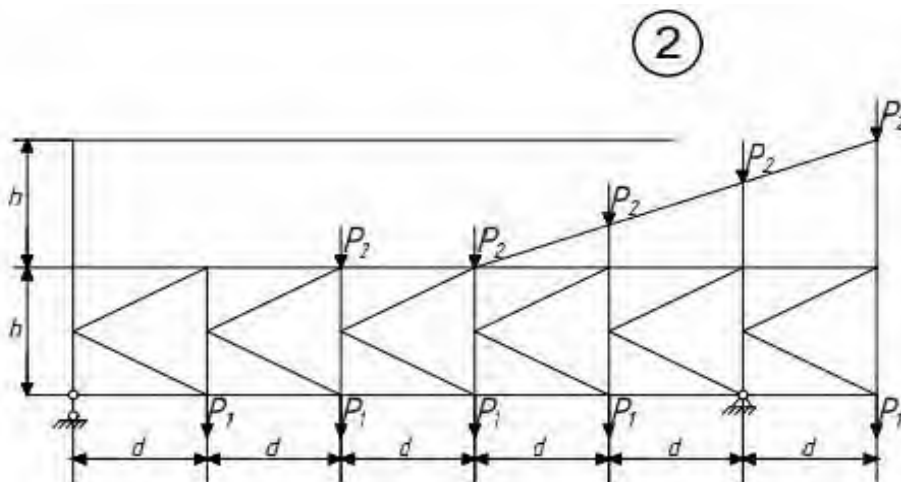


Рис. 3.2. Схема сталевій фермі покриття до розрахунку за варіантом 2

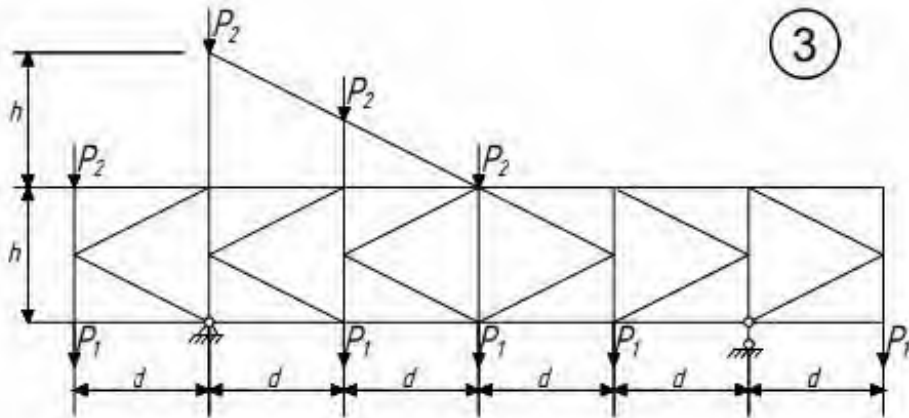


Рис. 3.3. Схема сталевій ферми покриття до розрахунку за варіантом 3

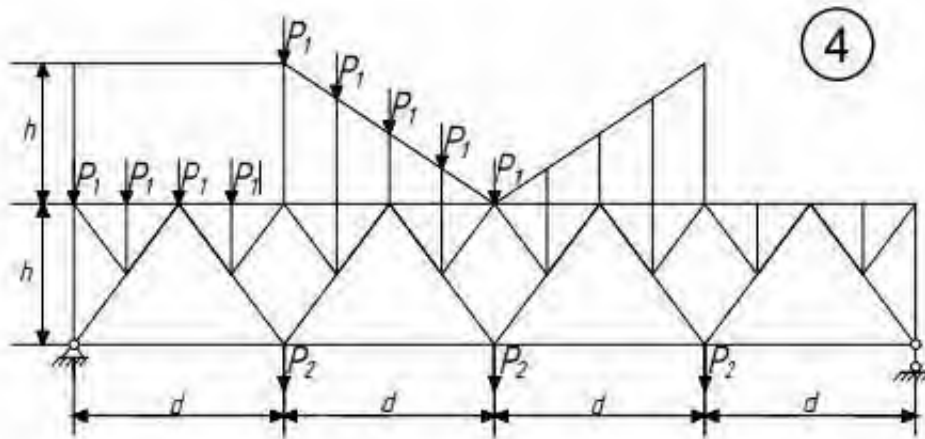


Рис. 3.4. Схема сталевій ферми покриття до розрахунку за варіантом 4

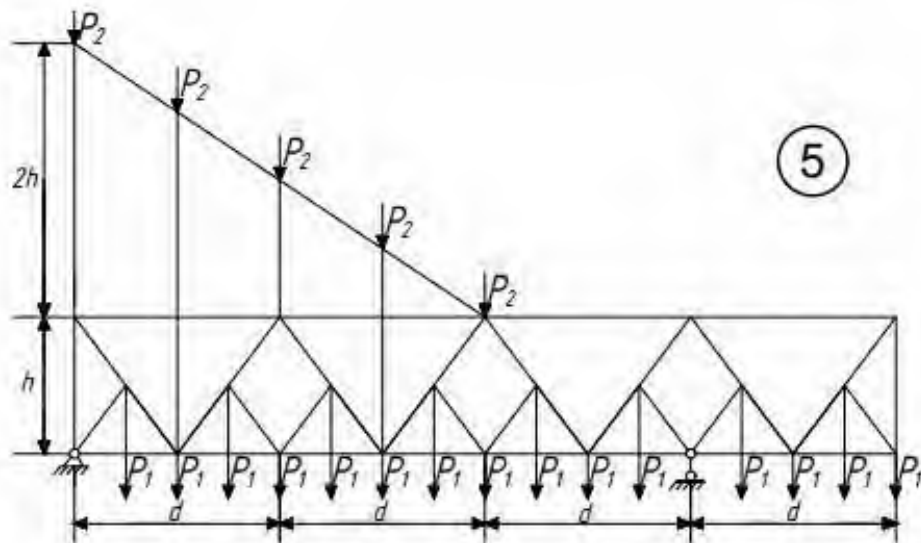


Рис. 3.5. Схема сталевій ферми покриття до розрахунку за варіантом 5

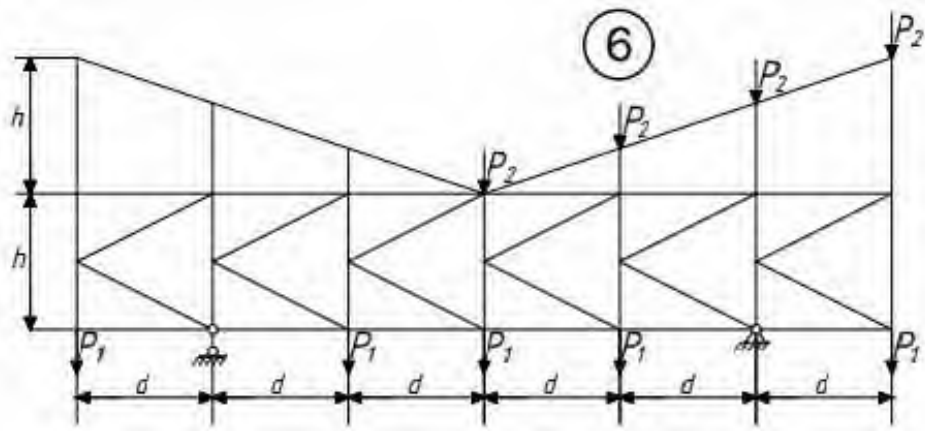


Рис. 3.6. Схема сталевї ферми покриття до розрахунку за варіантом 6

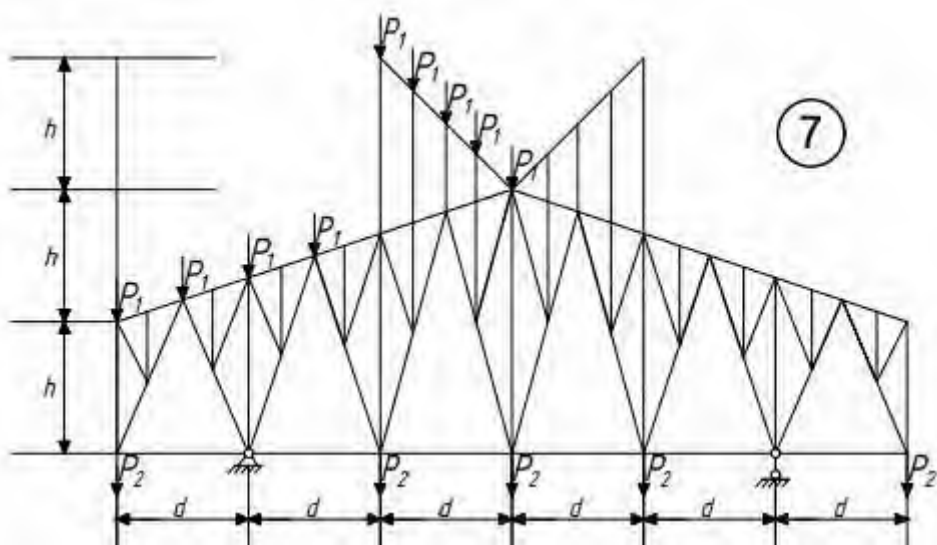


Рис. 3.7. Схема сталевї ферми покриття до розрахунку за варіантом 7

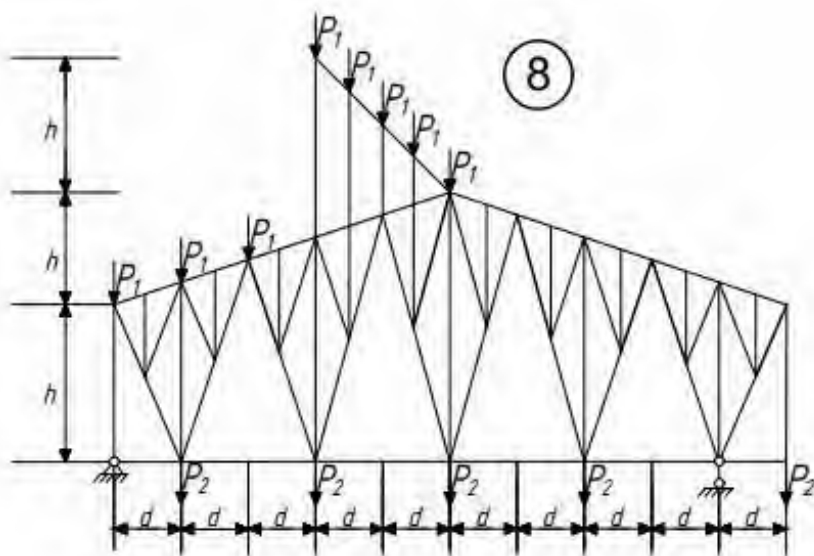


Рис. 3.8. Схема сталевї ферми покриття до розрахунку за варіантом 8

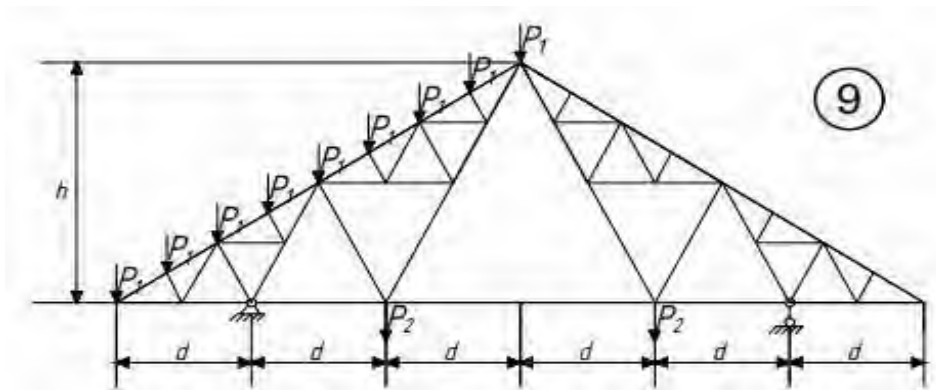


Рис. 3.9. Схема сталевій ферми покриття до розрахунку за варіантом 9

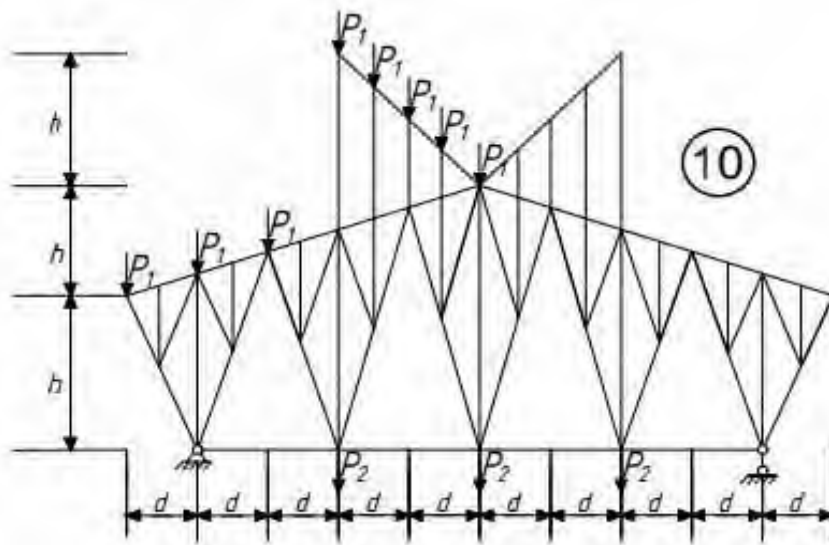


Рис. 3.10. Схема сталевій ферми покриття до розрахунку за варіантом 10

Контрольні запитання

1. У чому полягає основна перевага конструкцій ферм у порівнянні з балковими? Які прольоти будівель дозволяють перекривати ферми покриття?
2. Яку передумову застосовують при обчисленні внутрішніх зусиль у фермах при виконанні аналітичних розрахунків?
3. Які існують методи визначення внутрішніх зусиль у фермах? У чому полягають переваги та недоліки застосування кожного із методів?
4. Розглянемо ферму із паралельними поясами. Які зусилля сприймають елементи поясів та решітки ферм покриття? Який елемент решітки є найбільш навантаженим?
5. Які основні гіпотези опору матеріалів застосовуються під час комп'ютерного моделювання та чисельного розрахунку у ПК «ЛІРА-САПР»?

Лабораторна робота № 4

Розрахунок статично визначеної арки покриття

Мета роботи: побудова епюр внутрішніх зусиль – згинальних моментів M , поздовжніх N та поперечних зусиль Q у плоскій арці покриття у відповідності до завдання. Виконати аналіз адекватності правильності отриманих чисельних результатів арки покриття.

Хід виконання роботи:

1. Створити нову задачу, задати відповідну ознаку схеми. Для заданої задачі застосовуються ознаки схеми 2 або 5.
2. Побудувати геометричну схему арки за допомогою команд «Створення вузлів» та «Створення елементів». Особливість цієї задачі полягає у тому, що необхідно визначити координати проміжних вузлів вісі арки, яка задається рівнянням кола або параболи. Використовуючи ці загальновідомі рівняння, необхідно попередньо знайти координати вузлів, за якими виконується побудова стержневих елементів.
3. Задати в'язі у відповідності до завдання. Додати шарніри за напрямком UY (за необхідності).
4. Задати жорсткість елементів ферми, використовуючи меню «Жорсткість та матеріали». Перерізи елементів арки можна приймати із сталевого балкового чи колонного двотавра за сортаментом металопродукції ПК «ЛІРА САПР», матеріал їхнього виготовлення – сталь С245.
5. Задати один із варіантів завантаження арки покриття за схемою, відповідно до завдання (табл. 4.1., рис. 4.1–4.10).
6. Виконати статичний розрахунок арки покриття.
7. Виконати аналіз напружено-деформованого стану основних елементів арочного покриття на підставі отриманих чисельних розрахунків. Приклад розрахунку статично-визначеної арки представлений у додатку В.4.

Вихідні дані для розрахунку арок

Перші букви прізвища	№ схеми	Рівняння осі криволі- нійної ділянки	l ,	$\frac{f}{l}$	$\frac{h}{l}$	F_1 ,	F_2 ,	F_3 ,	F_4 ,	F_5 ,	$\frac{q_1$,	$\frac{q_2$,	$\frac{Q_3$,
			м			кН	кН	кН	кН	кН	кН	$\frac{кН}{м}$	$\frac{кН}{м}$
	1	2	3			4					5		
А, І, Т, Я	1	парабола	18	0,3	0,3	100	–	150	–	–	–	20	–
Б, Й, У	2	коло	20	0,3	0,4	–	–	75	–	150	30	–	–
В, К, Ф	3	парабола	22	0,4	0,5	150	150	–	–	–	–	40	–
Г, Л, Х	4	коло	24	0,4	0,3	–	–	200	100	–	–	–	40
Д, М, Ц	5	парабола	26	0,8	0,4	150	–	–	75	–	–	20	–
Е, Н, Ч	6	коло	28	0,8	0,5	–	200	–	–	100	40	–	–
Є, О, Ш	7	парабола	30	0,7	0,3	–	–	150	75	–	30	–	–
Ж, П, Щ	8	коло	32	0,7	0,5	100	–	–	100	–	–	40	–
З, Р, Ь	9	парабола	34	0,6	0,4	–	150	100	–	–	–	–	20
И, С, Ю	10	коло	36	0,6	0,3	–	–	–	150	200	–	–	30

Примітка. Вихідні дані приймати за першими буквами прізвища.

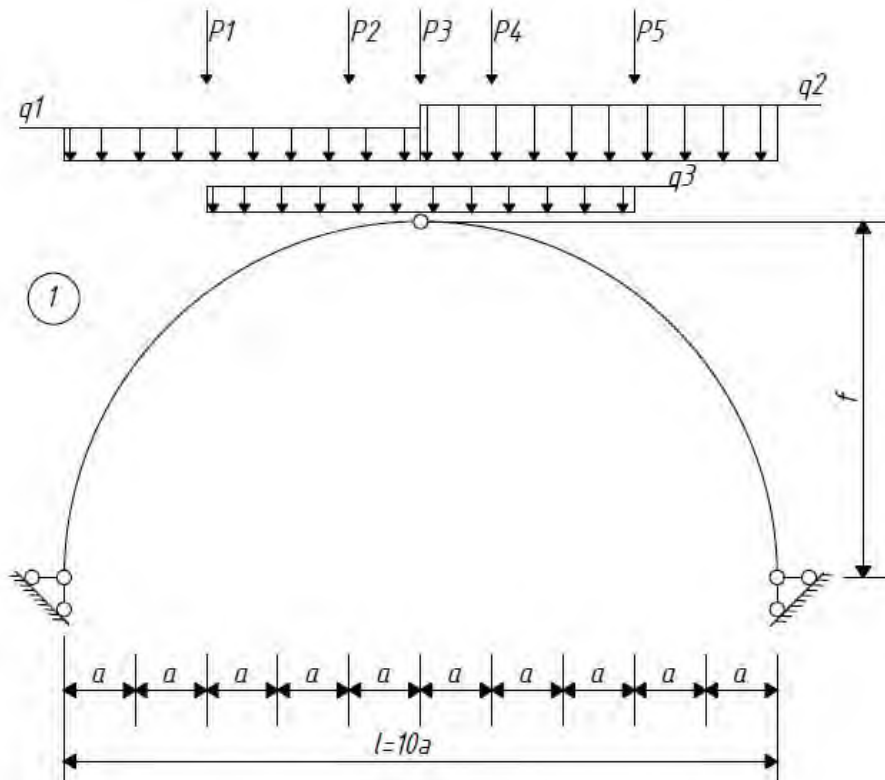


Рис. 4.1. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 1

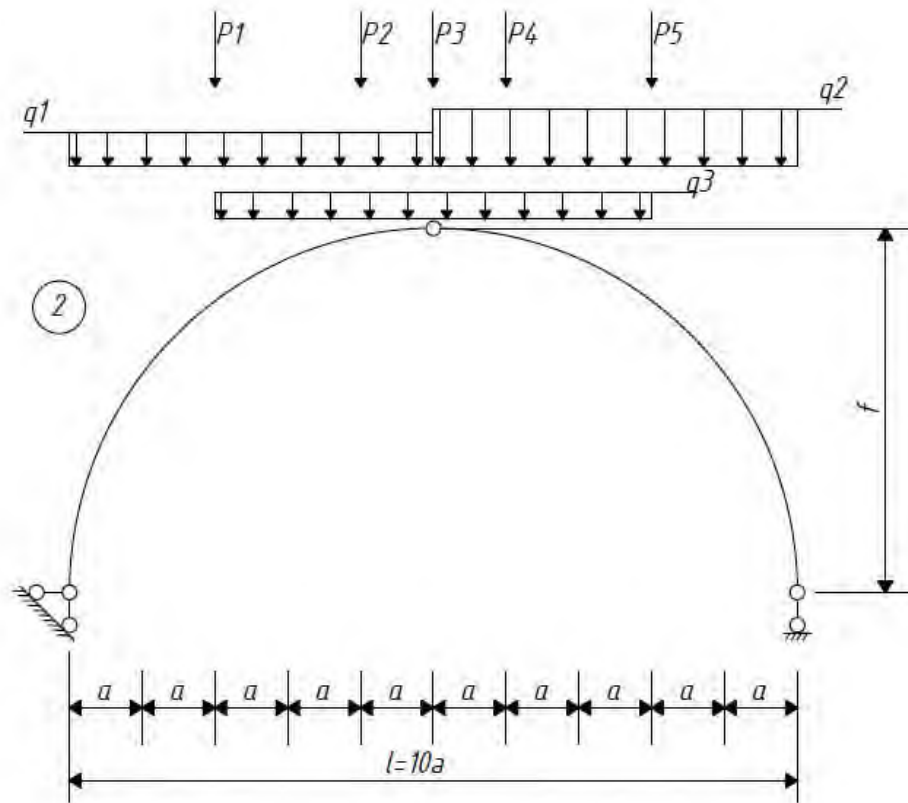


Рис. 4.2. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 2

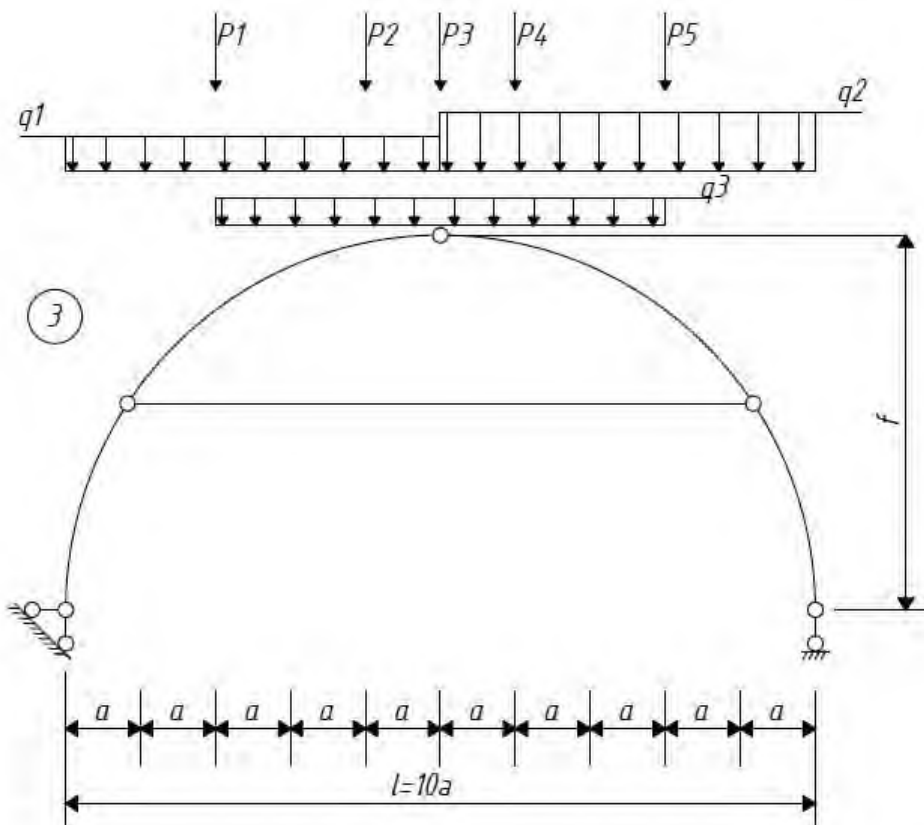


Рис. 4.3. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 3

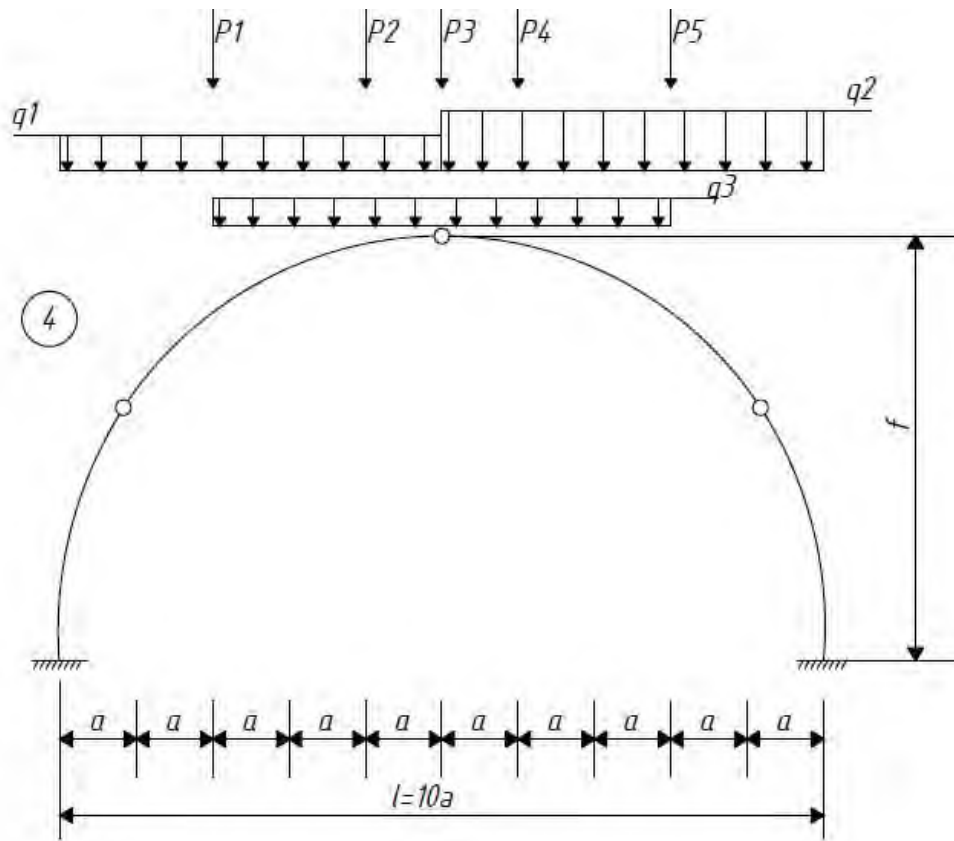


Рис. 4.4. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 4

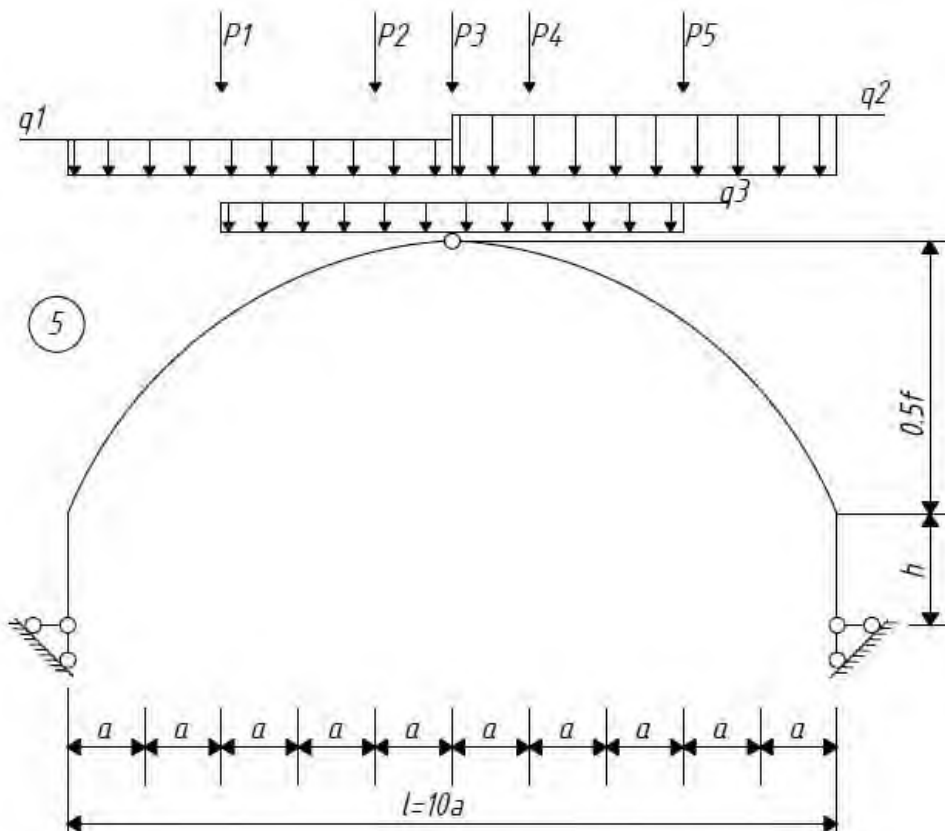


Рис. 4.5. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 5

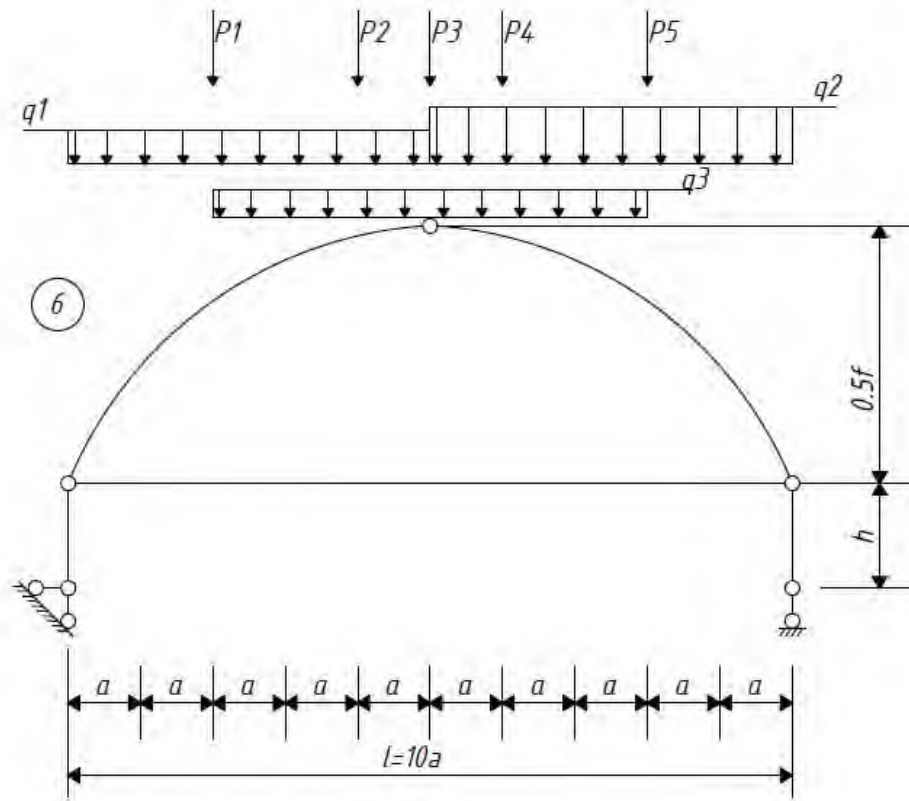


Рис. 4.6. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 6

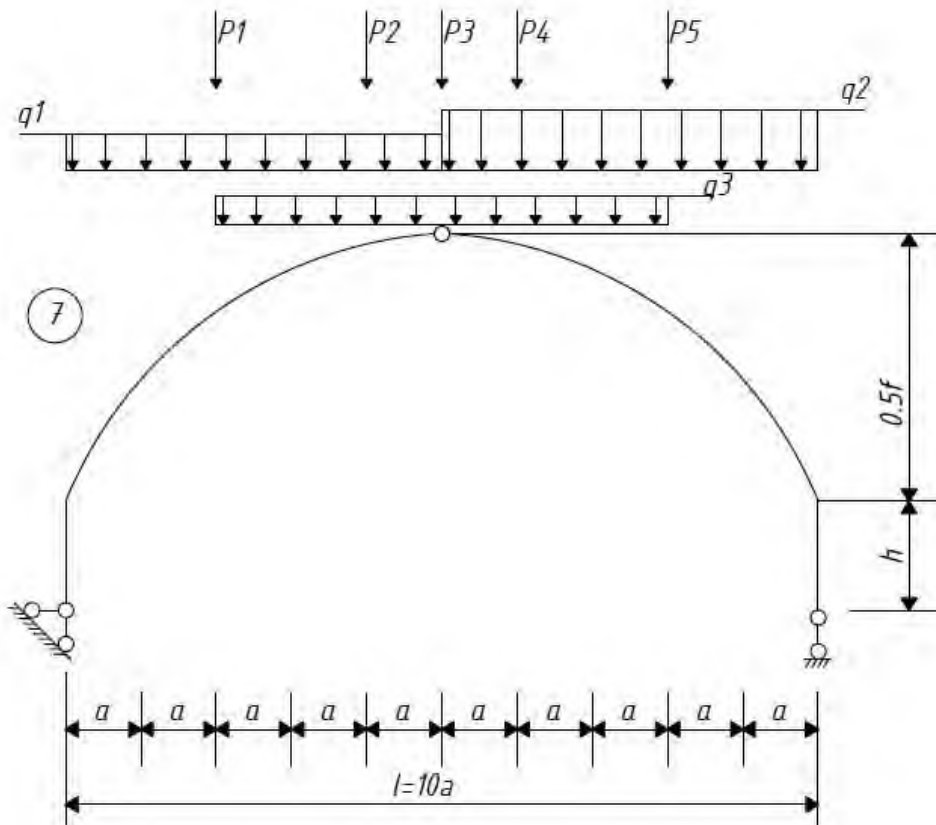


Рис. 4.7. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 7

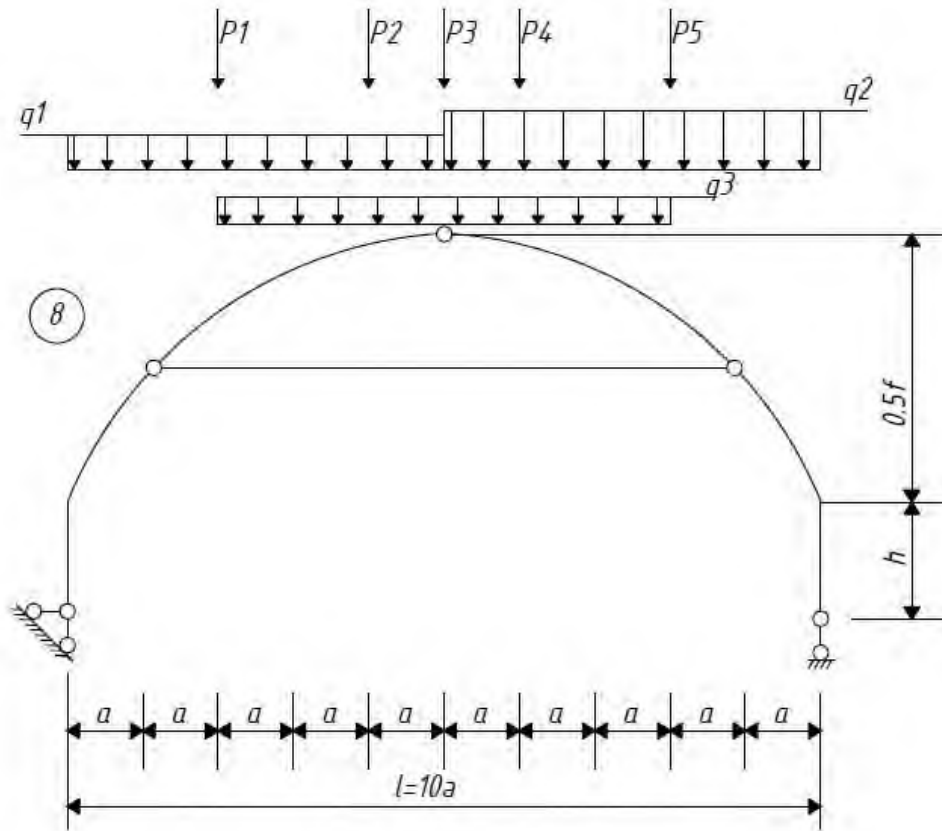


Рис. 4.8. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 8

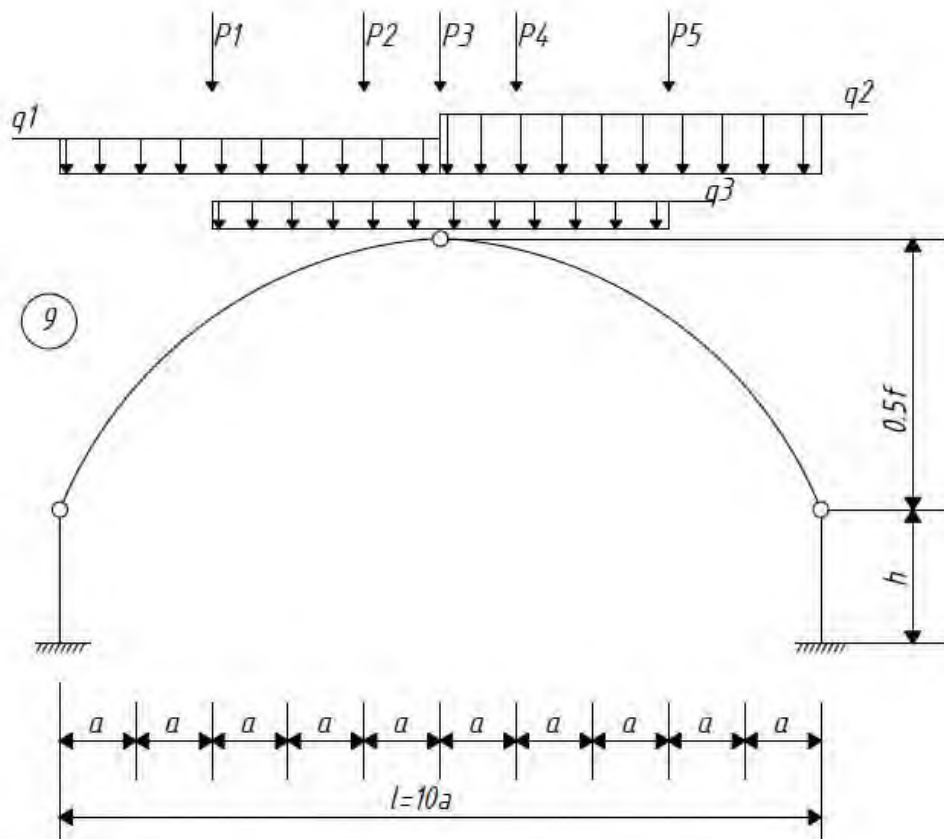


Рис. 4.9. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 9

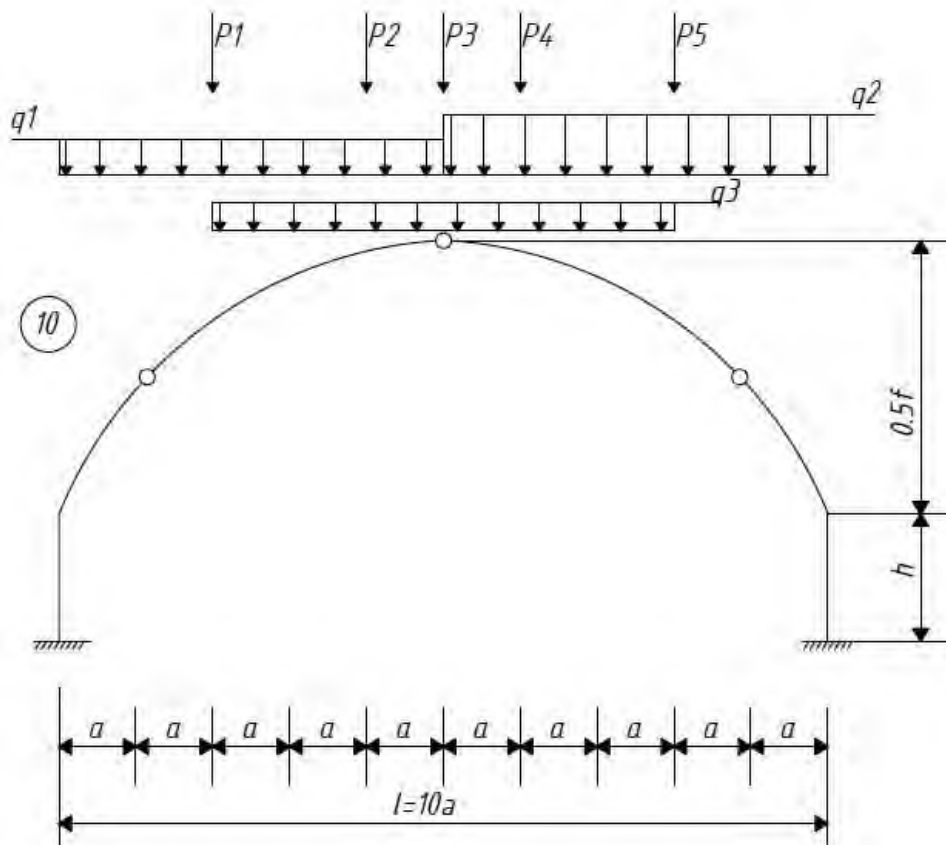


Рис. 4.10. Схема арки покриття до розрахунку за варіантом 10

Контрольні запитання

1. У чому полягає основна відмінність між арокними конструкціями та конструкціями балок та ферм покриття? Яким чином така відмінність впливає на конструктивні рішення арокних конструкцій?
2. Яка конструкція дозволяє перекрити найбільший проліт у будівлі – балка, ферма або арка? За рахунок яких чинників? Обґрунтуйте відповідь.
3. Які основні рівняння рівноваги використовуються для визначення опорних реакцій арки покриття?
4. Чим відрізняються зусилля в арці покриття від зусиль, які діють у балці?
5. Чим відрізняється характер епюри внутрішніх зусиль (моментів, поперечних та поздовжніх зусиль конструкції арки покриття від епюр зусиль, які діють у балці?
6. Наведіть приклади застосування арокних покриттів у будівлях або спорудах агропромислового комплексу.

Лабораторна робота № 5.

Розрахунок і конструювання сталевих елементів балкової клітки

Мета роботи: виконати розрахунок та конструювання сталевих елементів балкової клітки і несучого каркасу за допомогою засобів ПК «ЛІРА-САПР»

Хід виконання роботи:

1. Визначити товщину настилу у відповідності до значення корисного навантаження за завданням і рекомендаціями, наведеними нижче. Визначити постійне навантаження від власної ваги настилу.
2. Визначити крок другорядних балок за рекомендаціями, вказаними нижче. Підібрати оптимальний переріз прокатного двотавра за умови міцності балки, яка зазнає дію плоского згину.
3. Підібрати геометричні розміри перерізу головної балки та колони згідно з рекомендаціями.
4. Створити розрахункову схему балкової клітки з ознакою 5 у ПК «ЛІРА САПР» за двома варіантами завантажень – постійним та корисним на кожному поверсі.
5. Розрахувати модель, виконати перевірку та підбір перерізів елементів балкової клітки за допомогою програми «ЛІР-СТК», проаналізувати отримані чисельні результати.
6. Оформити покрокове виконання у текстовому редакторі MS Word у форматі .doc (docx) – варіант завдання, геометричні параметри, скріншоти епюру та деформованих систем із відповідними значеннями.
7. *Розрахувати вузли з'єднання другорядної балки із головною балкою та головної балки із колоною за допомогою програми «ЛІР-СТК».
8. **Вивести робочі креслення елементів балкової клітки за допомогою «ЛІРА-КМ» у ПК AutoCAD.

* → завдання для допитливих при умові наявності достатньої кількості часу.

**→ для правильної роботи програм «ЛПРА-КМ» слід при встановленні ПК «ЛПРА САПР» вказати пункт «встановити «ЛПРА-КМ»».

Щодо визначення розрахункових опорів сталей і підбору відповідних перерізів елементів каркасу будівлі, необхідно використовувати підпрограму «РС-САПР» (Редагований сортамент), яка входить до комплекту програм ПК «ЛПРА-САПР».

Приклад розрахунку, конструювання і моделювання балкової клітини у ПК «ЛПРА-САПР»представлений у додатку В.5.

Вихідні дані для розрахунку і конструювання сталевих елементів балкової клітки

№ літери прізви.	Вихідні дані	Літери прізвища студента									
		А, І, Т	Б, Й, У	В, К, Ф	Г, Л, Х	Д, М, Ц	Е, Н, Ч	Є, О, Ш	Ж, П, Ь	З, Р, Ю	И, С, Я
1	розміри будівлі у плані	$3L \times 3B$	$3L \times 2B$	$2L \times 4B$	$2L \times 3B$	$2L \times 4B$	$3L \times 2B$	$3L \times 3B$	$4L \times 4B$	$3L \times 2B$	$4L \times 4B$
2	проліт головної балки $L, м$	13	12	11	15	14	12	13	14	15	11
3	крок колон, $B, м$	6	5,5	7,5	8	6,5	6	6,5	7	8	7,5
4	кількість поверхів, <i>шт.</i>	2	3	4	2	4	3	2	3	2	4
5	висота поверху, $м$	3,0	3,4	3,6	4,0	3,0	4,2	3,4	3,8	3,0	3,4
6	корисне навантаження на поверх площадки, $q, кН/м^2$	22	26	24	28	24	22	18	20	30	24
7	з'єднання балок настилу із головними балками	на одному рівні	повер-хове	на одному рівні	повер-хове	на одному рівні	повер-хове	на одному рівні	повер-хове	на одному рівні	повер-хове
8	з'єднання головних балок з колонами (обпирання)	зверху	збоку	зверху	збоку	зверху	збоку	зверху	збоку	зверху	збоку
9	матеріал балок настилу і головних балок	С245	С255	С285	С345	С245	С345	С345	С255	С285	С285
10	матеріал колон і настилу	С235	С245	С235	С255	С235	С245	С255	С245	С235	С235

Короткі теоретичні відомості та рекомендації

Система несучих сталевих балок, які утворюють конструкцію перекриття або робочих майданчиків, називається балковою клітиною. Залежно від розрахункового навантаження і відповідних розмірів у плані, балкові клітини можуть бути **трьох типів**: спрощені, нормальні й ускладнені (рис. 5.1). У практиці проектування доволі широко розповсюджені два останні типи.

Крок балок настилу залежить від несучої здатності настилу і може змінюватися у межах 0,6–1,6 м для сталевих балок і 1,5–3,0 м для залізобетонних. У разі необхідності сталевий настил підсилюють ребрами жорсткості. Крок другорядних балок має бути кратним довжині головної балки і приймається у межах 2,0–5,0 м.

З'єднання балок між собою може бути поперковим, на одному рівні і пониженим. Відстань від нижнього поясу головної балки до верху настилу називається будівельною висотою балкової клітки (рис. 5.2).

Вибір раціонального типу балкової клітки залежить від багатьох чинників, тому його виконують на основі порівняння декількох можливих варіантів конструктивних рішень. При цьому для зниження трудомісткості приймають якомога меншу кількість другорядних балок і балок настилу, які проектують із прокатних профілів.

Для сталевих настилів слід використовувати листи наведеної товщини:

$$\rightarrow t = 6 \dots 8 \text{ мм}, \text{ якщо навантаження } q \geq 10 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2};$$

$$\rightarrow t = 8 \dots 10 \text{ мм}, \text{ якщо навантаження } q = 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2};$$

$$\rightarrow t = 10 \dots 12 \text{ мм}, \text{ якщо навантаження } q = 21 \dots 30 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2};$$

$$\rightarrow t = 12 \dots 14 \text{ мм}, \text{ якщо навантаження } q > 30 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Збір навантажень на балку зручно виконувати у табличній формі (приклад для настилу товщиною 10 мм, табл. 5.2):

Збір навантажень на балку сталевого настилу, товщиною 10 мм

№	Найменування	$\gamma, \frac{кН}{м^2}$	$t, м$	$g_n, \frac{кН}{м^2}$	γ_m	$g_p, \frac{кН}{м^2}$
1	сталевий лист	78,5	0,01	0,785	1,05	0,824

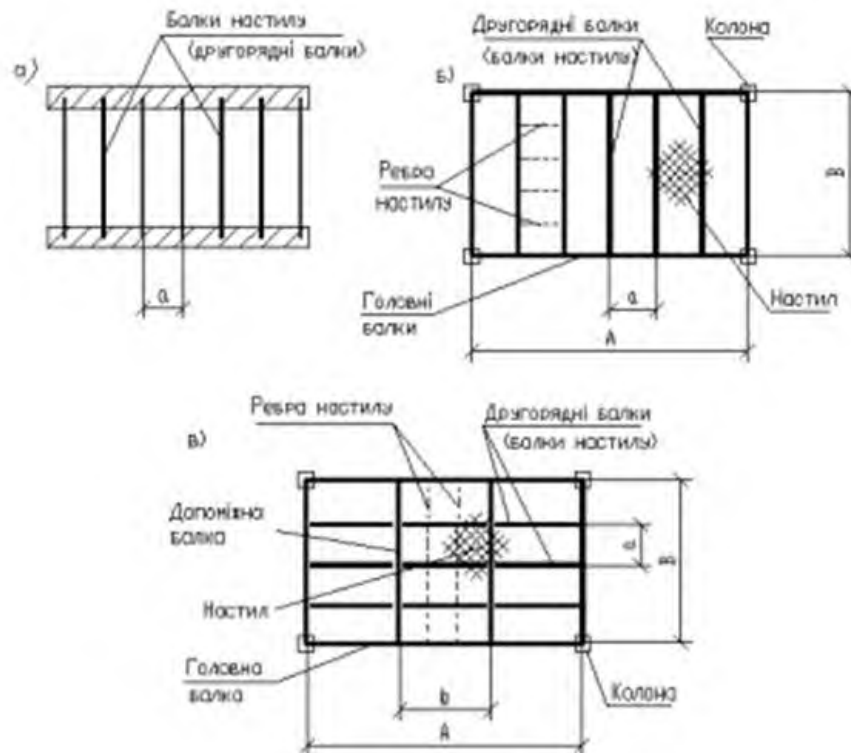


Рис. 5.1. Типи балкових кліток: а – спрощена; б – нормальна, в– ускладнена

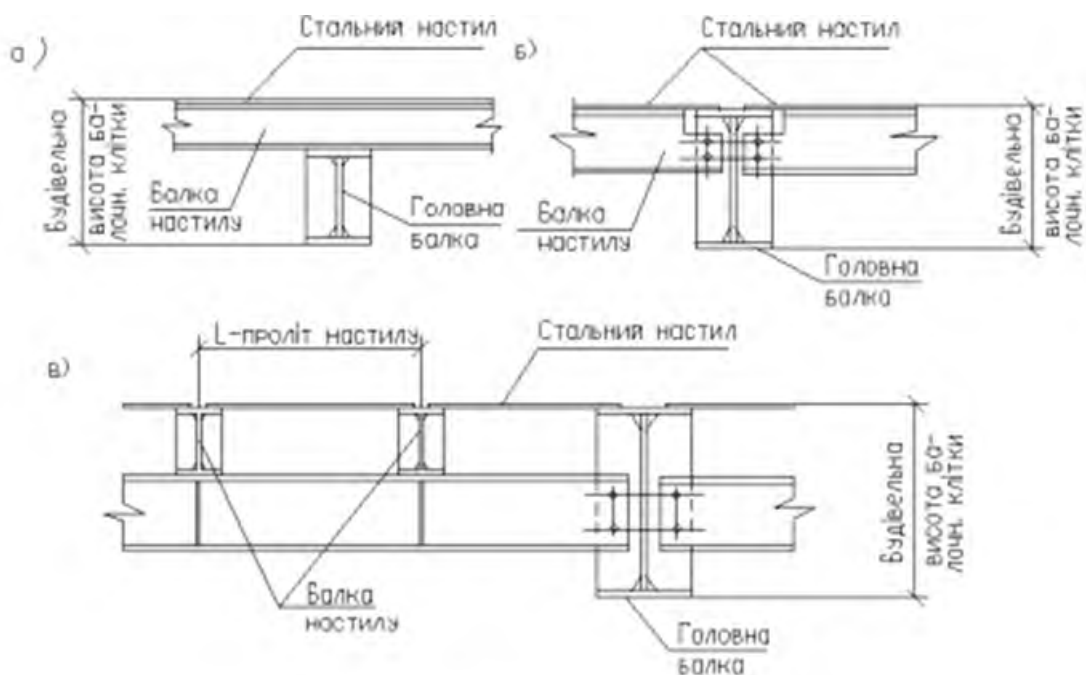


Рис. 5.2. З'єднання балок: а – поверхове, б – на одному рівні, в– понижене

Після визначення кроку другорядних балок, слід розробити ескіз балкової клітки із розташуванням усіх елементів (приклад для балкової клітки $3L \times 3B$).

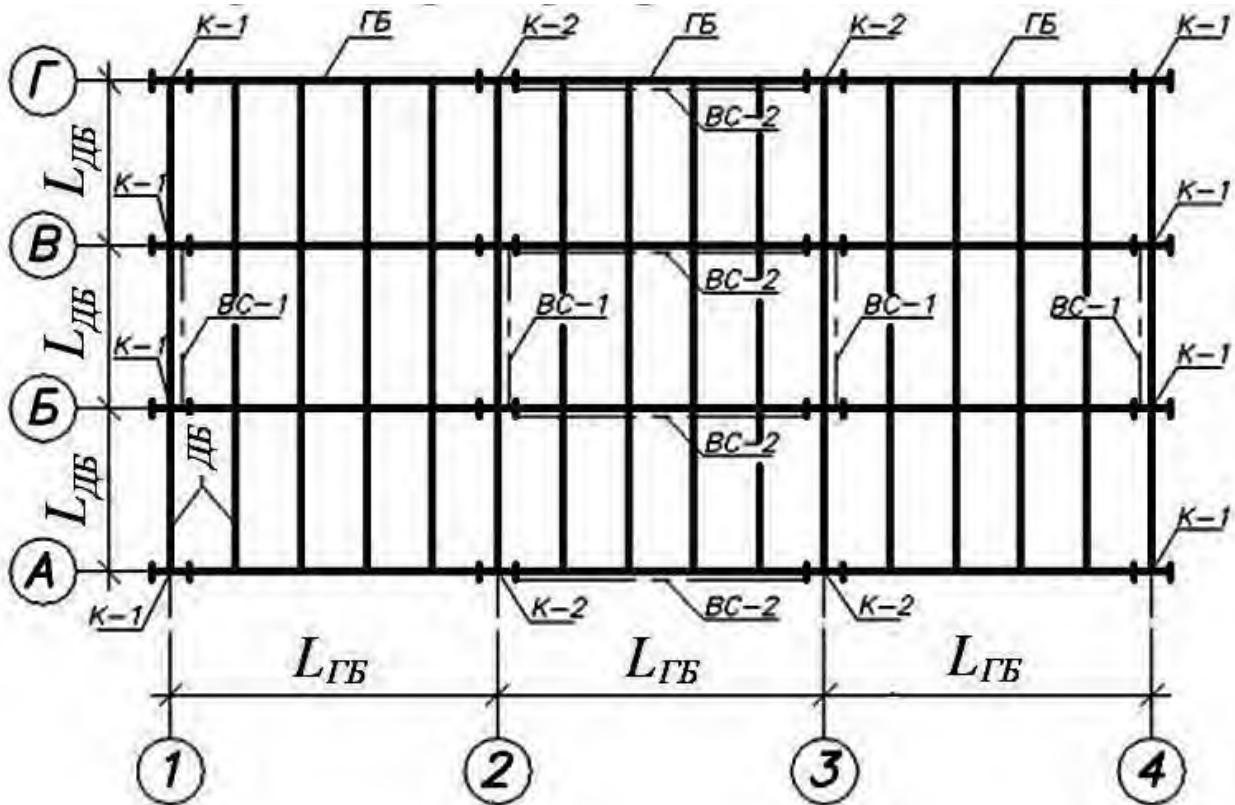


Рис. 5.3. План балкової клітки: *ГБ* – головні балки; *ДБ* – другорядні балки; *BC1*, *BC2* – вертикальні в’язи по колонах; *K1*, *K2* – центрально-стиснуті колони

Визначення навантаження на другорядну балку

Щодо обраного варіанту розташування другорядних балок (рис. 5.4), необхідно обчислити характеристичне і граничне розрахункове значення навантаження, яке діє на другорядну балку за наступними залежностями:

$$q_n = (P_n + q_n) \cdot l_n; \quad (5.1)$$

$$q = (\gamma_f \cdot P_n + \gamma_{f,B.B} \cdot q_n) \cdot l_n, \quad (5.2)$$

де q_n – характеристичне значення навантаження на другорядну балку;

q_n – навантаження від власної ваги настилу у $\kappaПа$;

q – розрахункове навантаження на другорядну балку;

γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням, який для корисного навантаження приймається рівним $\gamma_f = 1,2$;

$\gamma_{f,B.B}$ – коефіцієнт надійності за навантаженням для постійного навантаження (власна вага сталевих конструкцій), приймається рівним приймати $\gamma_{f,B.B} = 1,05$.

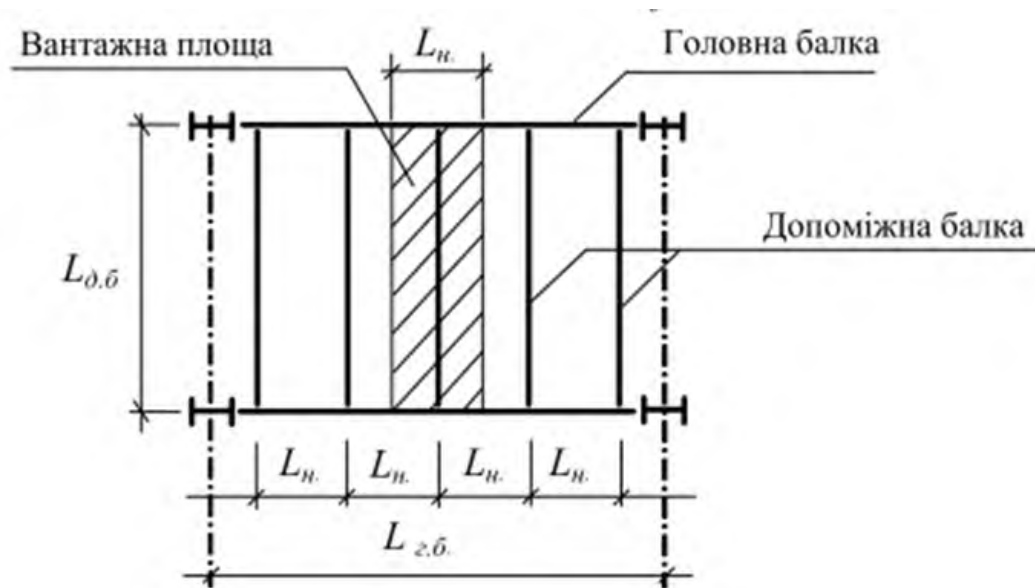


Рис. 5.4. Схема розташування елементів сталевого покриття

Підбір перерізу прокатного двотавра

Згинальний момент, який виникає у другорядній балці слід визначати за формулою:

$$M = \frac{q \cdot l_{др.б.}^2}{8}, \quad (5.3)$$

$l_{др.б.}$ – проліт другорядної балки у м, приймається у відповідності до завдання.

Необхідний момент опору сталевому перерізу визначається за формулою:

$$W_{необх.} = \frac{M}{c \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (5.4)$$

де c – коефіцієнт, який враховує роботу сталі у пружній та пластичній стадії, для двотаврових перерізів $c = 1,12$;

R_y – розрахунковий опір сталі за границею текучості (у МПа), приймається за табл. Б.1, дод. Б. Марку сталі слід приймати за завданням, γ_c – коефіцієнт

умови роботи, приймається $\gamma_c = 1$.

Відповідно до отриманого значення моменту опору $W_{необх.}$ слід підібрати за сортаментом прокатних двотаврів у відповідності до ДСТУ 8768:2018 «Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент», двотавр $W_x \geq W_{необх.}$ і виписати його характеристики.

Розрахунок головної балки

Вихідні дані щодо проєктування головної балки (за завданням):

→ проліт головної балки $L_{г.б.}$;

→ сталь марки C із розрахунковим опором R_y .

Визначення навантаження на головну балку

Навантаження на головну балку складається із корисного навантаження (згідно завдання), із навантаження від власної ваги настилу, другорядних і головних балок. Визначення вантажної площі головної балки слід виконувати у відповідності до рис. 5.5.

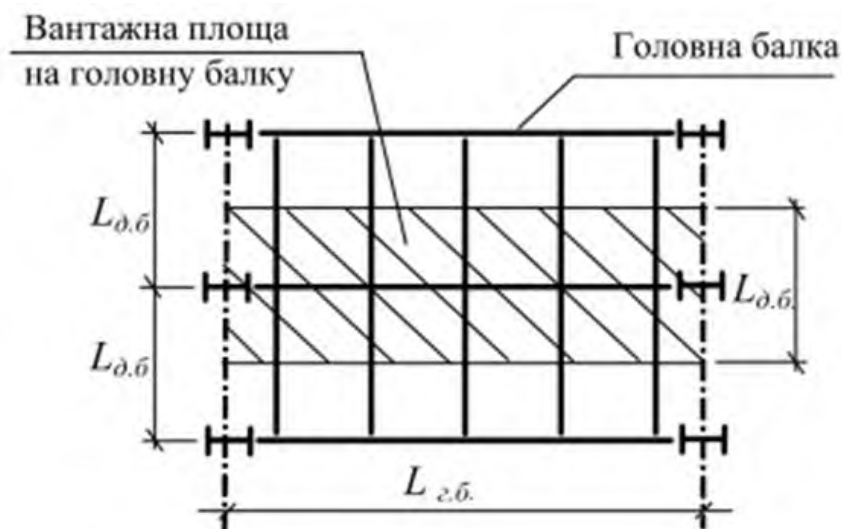


Рис. 5.5. Щодо визначення навантаження на головну балку

Характеристичне значення рівномірно-розподіленого навантаження на головну балку слід визначити за формулою:

$$q_n = 1,03 \cdot (P_n + 9,81 \times 10^{-3} m) \cdot l_{д.б.}, \left(\frac{\kappa H}{m} \right) \quad (5.5)$$

а граничне розрахункове значення:

$$q = 1,03 \cdot (P_n \cdot \gamma_f + 9,81 \times 10^{-3} m \cdot \gamma_{f,B.B}) \cdot l_{op.б}, \left(\frac{кН}{м} \right) \quad (5.6)$$

P_n – характеристичне значення корисного рівномірно-розподіленого навантаження у $кПа$ (за завданням);

γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням для корисного навантаження

$$\gamma_f = 1,2;$$

$\gamma_{f,B.B}$ – коефіцієнт надійності за навантаженням для постійного навантаження (власна вага сталевих конструкцій) приймати $\gamma_{f,B.B} = 1,05$;

m – приведена маса настилу і другорядних балок у $\frac{кг}{м^2}$, визначати за формулою для прийнятого до розробки варіанта;

1,03 – коефіцієнт, який враховує власну вагу головної балки (3%);

$l_{op.б}$ – проліт другорядної балки у $м$.

Визначення розмірів перерізу головної балки

Визначення висоти головної балки

Щодо визначення висоти головної балки необхідно попередньо обчислити розрахунковий згинальний момент і невідомий момент опору за формулами:

$$M = \frac{q \cdot L_{г.б}^2}{8}, \quad (5.9)$$

$$W_{необх.} = \frac{M}{\gamma_c \cdot R_y}, \quad (5.10)$$

де q – розрахункове рівномірно-розподілене навантаження, $L_{г.б}$ – проліт головної балки у $м$ (за завданням).

R_y – розрахунковий опір сталі за границею текучості у $МПа$ приймати за табл. Б.1, додатку Б. Марка сталі головної бали приймається у відповідності до завдання. Оптимальну висоту головної балки, що забезпечує мінімальна витрата сталі, необхідно визначати за наступною формулою:

$$h_{\text{опт}} = k \cdot \sqrt{\frac{W_{\text{необх.}}}{t_w}}, \quad (5.11)$$

де k – коефіцієнт, який залежить від співвідношення конструктивних коефіцієнтів поясів стінки балки, приймається у межах $k = 1,10 \div 1,15$.

Для балок висотою до 2 м товщина стінки може визначатися за емпіричною формулою:

$$t_w = (3 \div 7) \cdot h, \quad (5.12)$$

де t_w – товщина стінки, яка приймається у мм;

h – висота балки у м, попередньо приймається рівною $h = \frac{1}{8} \dots \frac{1}{12}$ прольоту балки.

Мінімальну висоту балки, що забезпечує жорсткість балки, необхідно визначати за формулою:

$$h_{\text{min}} = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y \cdot l}{E} \cdot \frac{1}{\left[\frac{f}{l} \right]} \cdot \frac{q_n}{q}, \quad (5.13)$$

де $\left[\frac{f}{l} \right]$ – допустимий відносний прогин головної балки, $\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{400}$.

Висота балки приймається за наступними умовами:

$$h > h_{\text{min}}, \quad h \approx h_{\text{опт}}. \quad (5.14)$$

Визначення товщини стінки балки

Товщина стінки балки визначається за умови міцності на зріз в опорному перерізі:

$$t_w^{\text{min}} = \frac{1,5 \cdot Q}{h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c}, \quad (5.15)$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2}, \quad (5.16)$$

де Q – поперечна сила, яка діє в опорному перерізі балки (опорна реакція);

h_w – висота стінки. Попередньо приймається на 4–6 см менше за висоту

балки з урахуванням сортаменту прокатної товстолистової сталі (вибирається за ДСТУ 8540:2015 «Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент»);

R_s – розрахунковий опір сталі на дію зрізу, який визначається за наступною аналітичною залежністю:

$$R_s = 0,58 \cdot R_y, \quad (5.17)$$

За умовою забезпечення стійкості стінки балки, визначається її товщина за формулою:

$$t_w \geq \frac{h_w}{6} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (5.18)$$

Корозійна стійкість стінки балки повинна задовольнятися умовою:

$$t_w \geq 0,8 \text{ см}. \quad (5.19)$$

Якщо умови (5.18) та (5.19) не виконуються, необхідно відкоригувати величину t_w і h_w .

Визначення розмірів поясу балки

Площа поясу складеної балки симетричного перерізу визначається за:

$$A_f = \frac{W_{\text{необх.}}}{h} - \frac{t_w \cdot h}{6}. \quad (5.20)$$

Переріз поясу призначається з урахуванням вимог загальної і місцевої стійкості. Розміри поясу визначають, виходячи з наведених умов:

$$\frac{b_f}{h} = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right), \text{ але не менше, ніж } 180 \text{ мм};$$

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \sqrt{\frac{E}{R_y}};$$

$$t_f \leq 2,5 \cdot t_w,$$

де b_f – ширина поясу; t_f – товщина поясу.

Розміри b_f і t_f необхідно призначати з урахуванням сортаменту універсальної сталі за ДСТУ 8540:2015.

Вибір розрахункової схеми та визначення навантажень на колону

Вузол сполучення колони з фундаментом – шарнірний. Вузол сполучення головної балки з колоною також шарнірний, хоча у випадку з'єднання балок із колоною збоку (в одному рівні), виникає часткове защемлення.

Таким чином розрахункову схему колони можна приймати у вигляді центрально-стиснутого стержня із шарнірним спиранням кінців.

Висота колони визначається у залежності від сполучення головних і другорядних балок (за завданням).

Висота колони визначається за таких умов:

→ у випадку спирання другорядних балок на головні, маємо:

$$H = h_{наст.} - h_{г.б.} - h_{др.б.} + H_{загл.}; \quad (5.21)$$

→ у випадку сполучення другорядних балок з головними в одному рівні:

$$H = h_{наст.} - h_{г.б.} + H_{загл.}; \quad (5.22)$$

де $h_{наст.}$ – рівень підлоги другого поверху (позначка верху настилу вибирається у відповідності до завдання);

$h_{др.б.}$ і $h_{г.б.}$ – висота другорядної і головної балок, приймається у відповідності до попередніх розрахунків;

$H_{загл.}$ – величина заглиблення колони, приймається рівною 0,5–0,6 м.

У випадку шарнірного закріплення (колони з фундаментом та сполучення головної балки з колоною), розрахункова довжина колони дорівнює її початковій висоті – $l_{ef} = H$.

За умовою рівності жорсткості колони у двох площинах $l_{ef,x} = l_{ef,y}$, рівень підлоги другого поверху $h_{наст.}$ приймається такою, що дорівнює висоті поверху за завданням.

Загальне зусилля, яке сприймається колоною, дорівнює:

$$N = n_{нов.} \cdot (Q_{max} + Q_{зб.} + Q_{кор.}), \quad (5.23)$$

де $n_{нов.}$ – кількість поверхів;

Q_{max} – навантаження на головну балку (вага другорядних балок настилу).

Вага головної балки визначається за формулою:

$$Q_{\text{сб}} = Q_{\text{стілки}} + 2 \cdot Q_{\text{поллиці}} = \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} + 2 \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{поллиці}}. \quad (5.24)$$

Корисне навантаження на вантажну площу колони становить:

$$Q_{\text{кор}} = q_{\text{пол}} \cdot L \cdot l. \quad (5.25)$$

Для попереднього підбору поперечного перерізу колони задаємо $\varphi_1 = 0,7$.

Необхідна площа перерізу визначається за наступною формулою:

$$A_{\text{необх}} = \frac{N}{\varphi_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c}. \quad (5.26)$$

За сортаментом колонних двотаврів необхідно підібрати двотавр, який має площу перерізу, більшу або таку, що дорівнює $A_{\text{необх}}$.

Перерізи хрестових в'язей (між другорядними балками) слід проєктувати із двох рівнополичкових кутиків – попередньо зі 2 \perp 90 \times 6; порталних в'язей (між головними балками) – із двох швелерів №12.

Матеріал в'язей – сталь класу С245.

Після підбору відповідних перерізів усіх несучих елементів каркасу слід переходити до створення моделі у ПК «ЛІРА САПР».

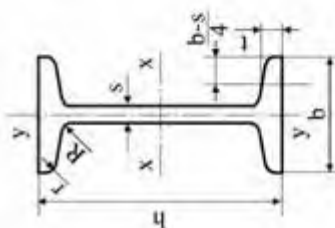
Контрольні запитання

1. Назвіть та охарактеризуйте основні типи балкових клітин. Із яких несучих елементів складаються балкові клітини?
2. Наведіть алгоритм підбору складеного перерізу головної балки.
3. Які умови (перевірки) мають бути виконані у процесі проєктування перерізу прокатної другорядної балки під час улаштування клітини?
4. Яка умова міцності нормального перерізу сталевій колоні застосовується при центральному стиску?
5. У чому полягає суть явища поздовжнього згину під час проєктування несучих конструкцій балкової клітини?

Сортаменти фасонного прокату

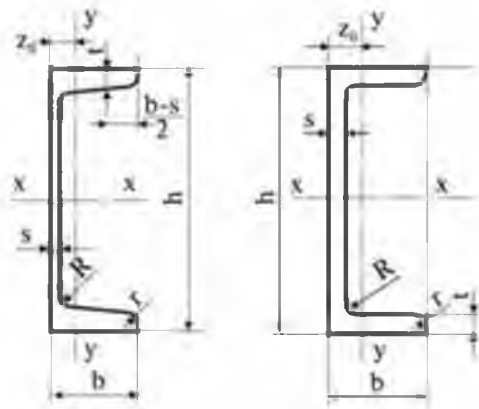
Таблиця А.1

Сортамент гарячекатаних двотаврів
(з ухилом внутрішніх граней полиць 6-12%) за ГОСТ 8239-89



Номер двотавру	ММ										Маса 1 м, кг	Довідкові значення для вісей					
	h	b	s	t	R	r	x - x			y - y							
							Площа поперечного перерізу, см ²	J _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см		S _x , см ³	J _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см		
10	100	55	4,5	7,2	7	2,5	12	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22			
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38			
14	140	73	4,9	7,5	8	3	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55			
16	160	81	5	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7			
18	180	90	5,1	8,1	9	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88			
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07			
22	220	110	5,4	8,7	10	4	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27			
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37			
27	270	125	6	9,8	11	4,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54			
30	300	135	6,5	10,2	12	5	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69			
33	330	140	7	11,2	13	5	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79			
36	360	145	7,5	12,3	14	6	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89			
40	400	155	8,3	13	15	6	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03			
45	450	160	9	14,2	16	7	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09			
50	500	170	10	15,2	17	7	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23			
55	550	180	11	16,5	18	7	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39			
60	600	190	12	17,8	20	8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54			

Примітка. Двотаври №№ 24-60 не рекомендується застосовувати у нових розробках



Таблиця А.2

Сортамент гарячекатаних швелерів згідно з ГОСТ 8240-89

Номер швелера	h	b	s	t	R	r	Площа перерізу, см ²	Маса 1 м, кг	Довідкові значення для вісей							z ₀ , см
									x - x				y - y			
									J _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	J _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Швелери з ухилом внутрішніх граней полиць																
5	50	32	4,4	7	6	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	6	2,5	7,51	5,9	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7	3	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8	3	15,6	12,3	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
16	160	64	5	8,4	8,5	3,5	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
16а	160	68	5	9	8,5	3,5	19,5	15,3	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2
18	180	70	5,1	8,7	9	3,5	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18а	180	74	5,1	9,3	9	3,5	22,2	17,4	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9	9,5	4	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07
22	220	82	5,4	9,5	10	4	26,7	21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21

Продовження табл. А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
24	240	90	5,6	10	10,5	4	30,6	24	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
27	270	95	6	10,5	11	4,5	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11	12	5	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	11,7	13	5	46,5	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	14	6	53,4	41,9	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	13,5	15	6	61,5	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75
Швелери з паралельними гранями полиць																
5-П	50	32	4,4	7	6	3,5	6,16	4,84	22,8	9,14	1,92	5,61	5,95	2,99	0,983	1,21
6,5-П	65	36	4,4	7,2	6	3,5	7,51	5,9	48,8	15	2,55	9,02	9,35	4,06	1,12	1,29
8-П	80	40	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	7,05	89,8	22,5	3,16	13,3	13,9	5,31	1,24	1,38
10-П	100	46	4,5	7,6	7	4	10,9	8,59	175	34,9	3,99	20,5	22,6	7,37	1,44	1,53
12-П	120	52	4,8	7,8	7,5	4,5	13,3	10,4	305	50,8	4,79	29,7	34,9	9,84	1,62	1,66
14-П	140	58	4,9	8,1	8	4,5	15,6	12,3	493	70,4	5,61	40,9	51,5	12,9	1,81	1,82
16-П	160	64	5	8,4	8,5	5	18,1	14,2	750	93,8	6,44	54,3	72,8	16,4	2	1,97
16а-П	160	68	5	9	8,5	5	19,5	15,3	827	103	6,51	59,5	90,5	19,6	2,15	2,19
18-П	180	70	5,1	8,7	9	5	20,7	16,3	1090	121	7,26	70	100	20,6	2,2	2,14
18а-П	180	74	5,1	9,3	9	5	22,2	17,4	1200	133	7,34	76,3	123	24,3	2,35	2,36
20-П	200	76	5,2	9	9,5	5,5	23,4	18,4	1530	153	8,08	88	134	25,2	2,39	2,3
22-П	220	82	5,4	9,5	10	6	26,7	21	2120	193	8,9	111	178	31	2,58	2,47
24-П	240	90	5,6	10	10,5	6	30,6	24	2910	243	9,75	139	248	39,5	2,85	2,72
27-П	270	95	6	10,5	11	6,5	35,2	27,7	4180	310	10,9	178	314	46,7	2,99	2,78
30-П	300	100	6,5	11	12	7	40,5	31,8	5830	389	12	224	393	54,8	3,12	2,83
33-П	330	105	7	11,7	13	7,5	46,5	36,5	8010	486	13,1	281	491	64,6	3,25	2,9
36-П	360	110	7,5	12,6	14	8,5	53,4	41,9	10850	603	14,3	350	611	76,3	3,38	2,99
40-П	400	115	8	13,5	15	9	61,5	48,3	15260	763	15,8	445	760	89,9	3,51	3,05

Характеристичні і розрахункові опори різних видів прокату

Таблиця Б.1

Характеристичні і розрахункові опори при розтязі, стиску і згині для листового, широкосмугового універсального і фасонного прокату відповідно до класів міцності прокату сталі

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкосмугового універсального		фасонного		листового, широкосмугового універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
С235	від 2 до 20	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 20 до 40	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 40 до 100	215	360	–	–	210	350	–	–
	понад 100	195	360	–	–	190	350	–	–
С245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	–	–	235	370	–	–	230	360
С255	від 2 до 3,9	255	380	–	–	250	370	–	–
	від 4 до 10	245	370	255	380	240	360	250	370
	понад 10 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 40	235	370	235	370	230	360	230	360

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, ширококуткового універсального		фасонного		листового, ширококуткового універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
C275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
C285	від 2 до 3,9	285	390	-	-	280	380	-	-
	від 4 до 10	275	390	285	400	270	380	280	390
	понад 10 до 20	265	380	275	390	260	370	270	380
C295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
C325	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
	понад 40 до 60	285	450	-	-	280	440	-	-
	понад 60 до 80	275	440	-	-	270	430	-	-
	понад 80 до 100	265	430	-	-	260	420	-	-
C345	від 2 до 10	345	490	345	490	335	480	335	480
	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
C345K	від 4 до 10	345	470	345	470	335	460	335	460
C355	від 8 до 50	355	450	-	-	350	440	-	-
C375	від 2 до 10	375	510	375	510	365	500	365	500
	понад 10 до 20	355	490	355	490	345	480	345	480
	понад 20 до 40	335	480	335	480	325	470	325	470
C390	від 4 до 50	390	540	-	-	380	530	-	-
C390K	від 4 до 30	390	540	-	-	380	530	-	-
C420	від 4 до 16	420	540	-	-	410	530	-	-
	від 16 до 40	400	530	-	-	390	515	-	-
	від 40 до 63	390	530	-	-	380	515	-	-
	від 63 до 80	370	520	-	-	360	505	-	-
C440	від 4 до 30	440	590	-	-	430	575	-	-
	понад 30 до 50	410	570	-	-	400	555	-	-
C460	від 4 до 16	460	570	-	-	445	555	-	-
	від 16 до 40	440	560	-	-	430	545	-	-
	від 40 до 63	430	560	-	-	420	545	-	-
	від 63 до 80	410	540	-	-	400	530	-	-
C490	від 8 до 50	490	590	-	-	475	575	-	-
C500	від 3 до 50	500	590-770	-	-	485	575-750	-	-
	від 50 до 100	480		-	-	465		-	-
C590	від 10 до 36	590	685	-	-	540	617	-	-

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкосмугового універсального		фасонного		листового, широкосмугового універсального		фасонного	
		R_{yH}	R_{yT}	R_{yH}	R_{yT}	R_y	R_u	R_y	R_u
C590K	від 10 до 40	590	685	-	-	540	617	-	-
C620	від 3 до 50	620	700-890	-	-	600	680-865	-	-
	від 50 до 100	580		-	-	565		-	-

¹⁾ За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.
²⁾ За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.
³⁾ Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм². Для класів міцності прокату сталі C235-C500; C620 враховано $\gamma_m = 1,025$, а для класів C590; C590K враховано $\gamma_m = 1,1$.

Примітка 1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у таблиці Г.5, слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом γ_m , який визначається згідно з таблицею 7.2.

Примітка 2. Розрахункові опори R_{yH} стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10 % порівняно до R_y .

Таблиця Б.2

Характеристичні і розрахункові опори при розтязі, стиску і згині труб для сталевих конструкцій споруд

Марка сталі	ГОСТ	Товщина стінки, мм	Характеристичний опір ¹⁾ , Н/мм ²		Розрахунковий опір ²⁾ , Н/мм ²	
			R_{yH}	R_{yT}	R_y	R_u
ВСтЗкл, ВСтЗпс, ВСтЗсп	ГОСТ 10705	до 10	225	370	215	350
ВСтЗпс4, ВСтЗсп4	ГОСТ 10706	4 ... 15	245	370	235	350
20	ГОСТ 8731	4 ... 36	245	410	225	375

¹⁾ За характеристичні опори прийнято гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору, які наводяться у державних стандартах або інших нормативних документах.
²⁾ Значення розрахункових опорів одержано діленням характеристичних опорів, Н/мм², на коефіцієнти надійності за матеріалом, які визначаються згідно з таблицею 7.2 і округленням до 5 Н/мм².

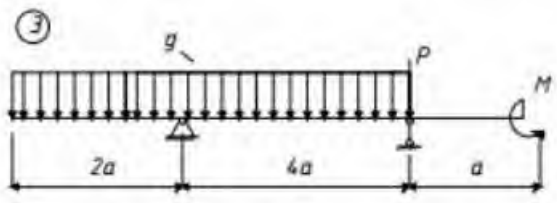
Примітка 1. Характеристичні опори для труб зі сталі марки 09Г2С згідно з ГОСТ 8731 встановлюються за погодженням сторін згідно з вимогами цього стандарту; розрахункові опори для труб зі сталі цієї марки обчислюють за формулами, наведеними у таблиці 7.1 цих Норм.

Примітка 2. Для труб марок сталей і товщин, що поставляються за іншими нормативними документами, характеристичні опори встановлюються за погодженням сторін згідно з вимогами цього стандарту; розрахункові опори обчислюють за формулами, наведеними у таблиці 7.1 цих Норм.


Приклади розрахунку конструкцій у ПК «ЛІРА САПР»

В.1. Приклад розрахунку статично визначеної балки

Вихідні дані для розрахунку:

	a , м	P , кН	M , кН·м	q , кН/м
	1	100	40	20

Хід виконання розрахунку:

1. Запускаємо програмний комплекс «ЛІРА-САПР».
2. На панелі інструментів натискаємо команду  **Новий (Створити новий документ)**.
3. У ПК «ЛІРА-САПР» існує 5 ознак схеми, але для плоских розрахункових схем найбільш розповсюдженою є 2 ознака схеми.
4. Задаємо назву задачі, наприклад «Лабораторна_1». Після чого відкривається загальне вікно з панелями інструментів, рис. В1.1.

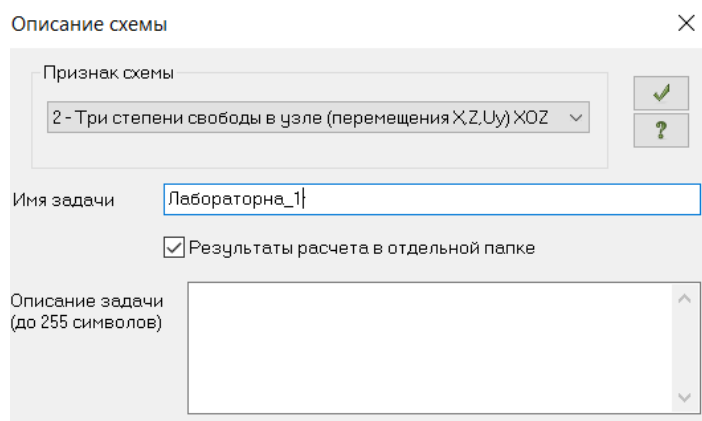



Рис. В1.1. Діалогове вікно «Опис схеми»

У ПК «ЛІРА-САПР» використовується метод скінченних елементів, тобто будь-яке середовище потрібно розбити на ділянки, тому починаємо задавати вузли.

5. Натискаємо на  **Додати вузол** і бачимо координати (0;0;0) – це і буде наша перша точка. Наступний вузол згідно із завданням буде мати координати (2;0;0), третій – (6;0;0) і останній (7;0;0), рис. В1.2.

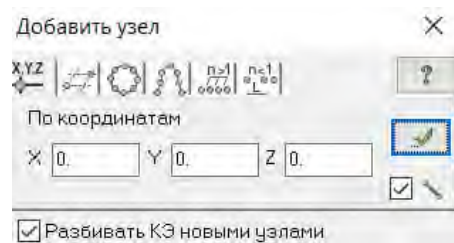


Рис. В1.2. Діалогове вікно **Додати вузол**


6. Для візуалізації натискаємо на кнопку  **Параметри відображення**. Обираємо номери вузлів і вузли збільшення. Вузли будуть краще відображатись і матимуть свою нумерацію, рис. В1.3.



Рис. В1.3. Вікно **Параметри відображення**




7. Переходимо до команди  **Додати елемент**. Обираємо стержень і з'єднуємо вузли між собою, рис. В1.4.



Рис. В1.4. Діалогове вікно **Додати елемент**

8. За завданням у балці маємо дві опори. У лівому нижньому кутку обираємо команду  **Вибір вузлів**. Виділяємо необхідний вузол і переходимо до команди  **В'язі**. У даній опорі діють дві реакції – вертикальна по осі Z і горизонтальна – вісь X , рис. В1.5.

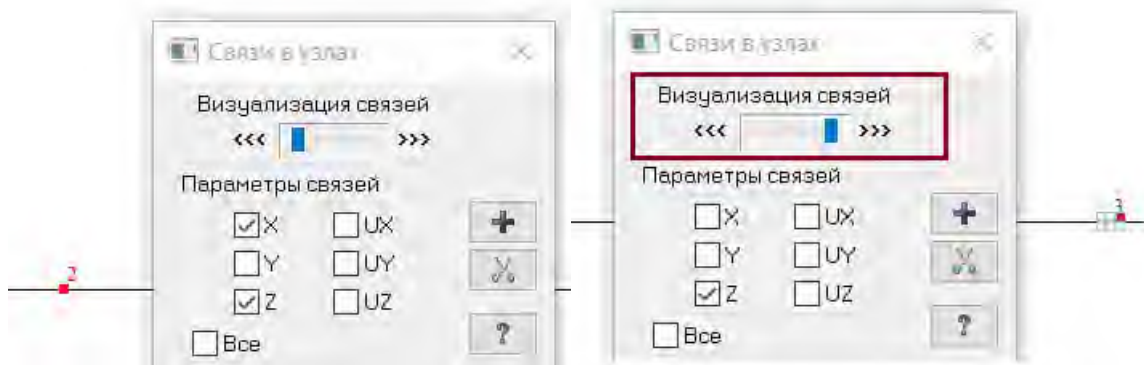




Рис. В1.5. Завдання в'язей у вузлах

Друга опора є шарнірно рухомою, в якій виникає лише вертикальна реакція Z . Вмикаємо візуалізацію в'язей.

9. Для того щоб виконати розрахунок балки потрібно задати жорсткості. Натискаємо  **Вибір елементів**, виділяємо всю схему і переходимо на  **Жорсткості**.

Перш за все натискаємо на **Додати**. Для прикладу задаємо двотавр і вибираємо його профіль, рис. В1.6.

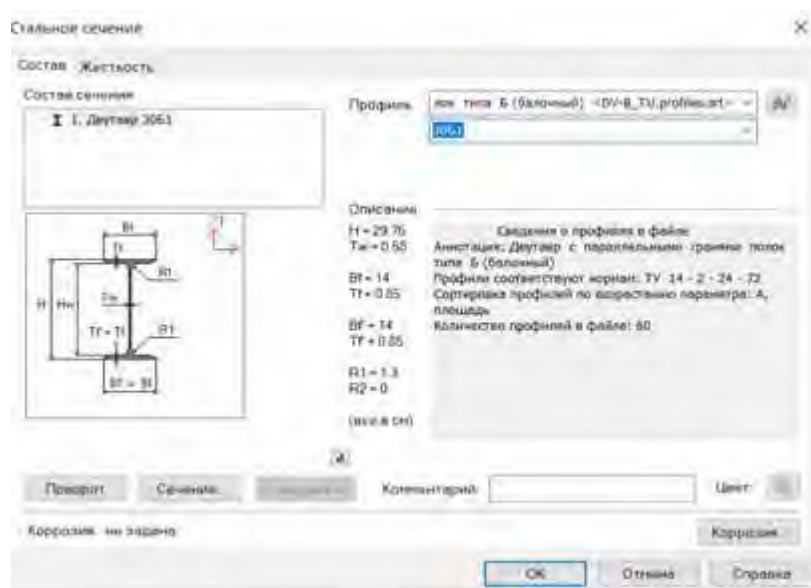



Рис. В1.6. Сталевий поперечний переріз балки

Задавати навантаження починаємо із вузлових. Обираємо необхідний вузол і переходимо в  **Навантаження у вузлах**, рис. В1.7–В1.10.

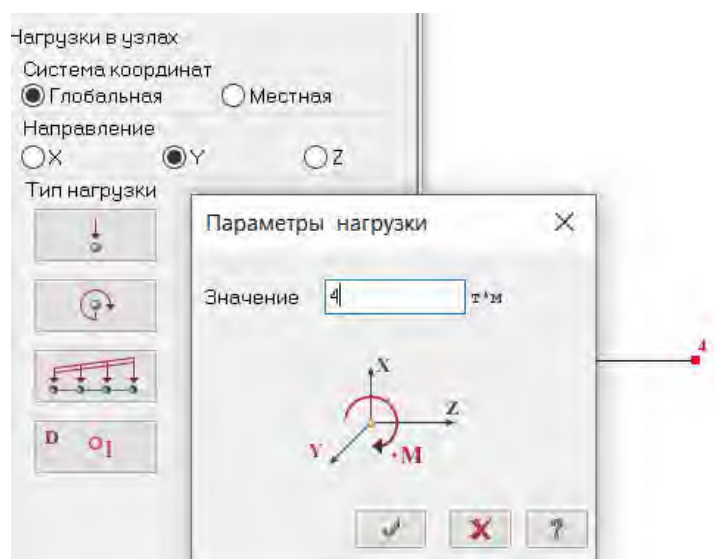


Рис. В1.7. Задавання згинального моменту M

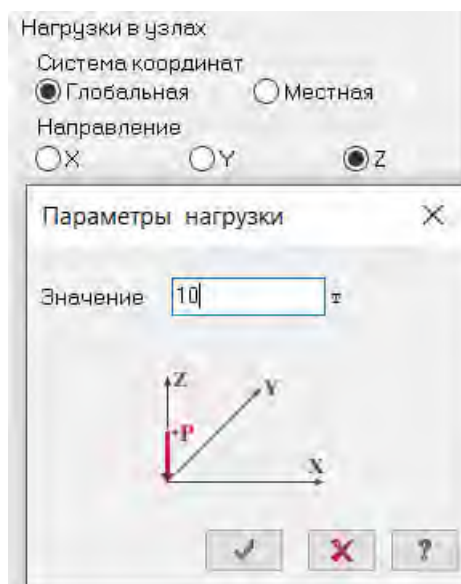


Рис. В1.8. Задавання сили P

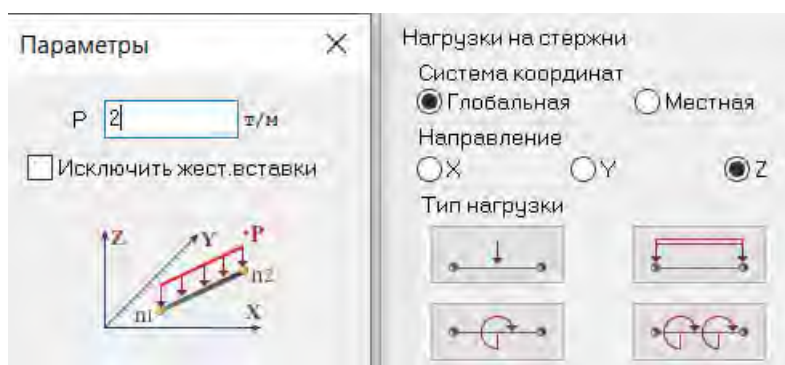



Рис. В1.9. Задавання лінійно-розподіленого навантаження



Рис. В1.10. Розрахункова схема статично-визначеної балки

10. Виконуємо статичний розрахунок  Виконати розрахунок та перевіряємо протокол розрахунків. Протокол розрахунку має наступний вигляд:

Протокол расчета

Дата: 18.06.2021

GenuineIntel Intel(R) Core(TM) i5-6200U CPU @ 2.30GHz 4 threads

Microsoft Windows 10 RUS 64-bit. Build 17763

Размер доступной физической памяти = 4269620736

15:28 Чтение исходных данных из файла C:\Users\Public\Documents\LIRA SAPR\LIRA SAPR 2016 NonCommercial\Data\лабораторна_1.txt

15:28 Контроль исходных данных основной схемы

Количество узлов = 4 (из них количество удаленных = 4)

Количество элементов = 3 (из них количество удаленных = 3)

ОСНОВНАЯ СХЕМА

15:28 Оптимизация порядка неизвестных

Количество неизвестных = 9

РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКИЕ ЗАГРУЖЕНИЯ

15:28 Формирование матрицы жесткости

15:28 Формирование векторов нагрузок

15:28 Разложение матрицы жесткости

15:28 Вычисление неизвестных

15:28 Контроль решения

Формирование результатов

15:28 Формирование топологии

15:28 Формирование перемещений

15:28 Вычисление и формирование усилий в элементах

15:28 Вычисление и формирование реакций в элементах
15:28 Вычисление и формирование эпюр усилий в стержнях
15:28 Вычисление и формирование эпюр прогибов в стержнях
Суммарные узловые нагрузки на основную схему:
Загружение 1 $PX=0$ $PY=0$ $PZ=22$ $PUX=0$ $PUY=4$ $PUZ=0$
Расчет успешно завершен
Затраченное время = 0 мин

11. Аналіз отриманих результатів.

Після виконання розрахунку переходимо на вкладку **Аналіз**.
Переміщення елементів відображаються значно збільшені для кращої
наглядності роботи балки під навантаженням, рис. В1.11.

На панелі деформації можна включити вихідну і деформовану схеми .



Рис. В1.11. Деформована схема балки



Для того, щоб вивести на екран переміщення по осі z, натискаємо на
команду  **Мозаїка переміщень по Z(G)**, рис. В1.12.



Рис. В1.12. Переміщення вузлів балки по осі Z

Можна також переглянути кути повороту у вузлах схеми (рад) за
допомогою команди  **Мозаїка переміщень за UY**, рис. В1.13.

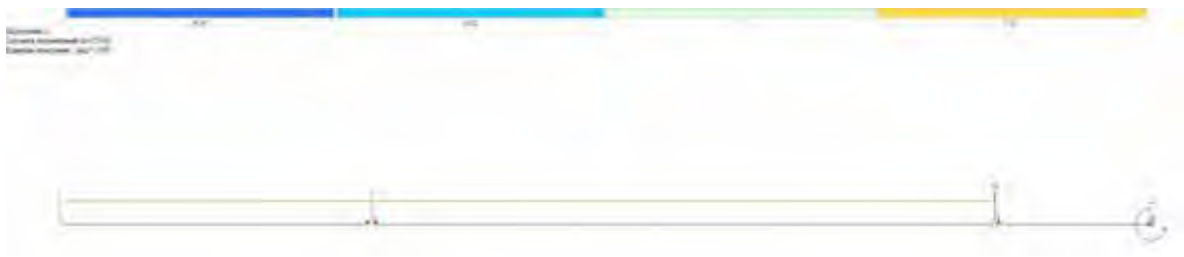


Рис. В1.13. Мозаїка переміщень за напрямом U_y

Епюри внутрішніх зусиль можна переглянути, натиснувши на панель

Усилия в стержнях. Епюра поперечних сил (tn) – завдяки команді Q_z , рис. В1.14.



Рис. В1.14. Епюра поперечних зусиль Q_z

Епюра згинальних моментів відображається при натисканні на команду

M_y , рис. В1.15.



Рис. В1.15. Епюра моментів M_y

Висновок: У лабораторній роботі №1 проведений розрахунок статично визначеної сталеві балки. Для побудови розрахункової схеми використовувалися стержневі скінченні елементи СЕ2.

Розрахункова схема створена за ознакою схеми 2 (три ступені вільності у вузлі (два переміщення X, Z , поворот навколо вісі $OY - U_y$). Побудовано епюри внутрішніх зусиль згинальних моментів M_y та поперечних сил Q_z .

В.2. Приклад розрахунку плоскої рами

Вихідні дані для розрахунку:

На конструкцію рами (рис. В2.1) діє рівномірно-розподілене навантаження $q = 10 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; зосереджена сила $F = 100 \text{кН}$. Жорсткість поперечного перерізу рами при згині $EI = 1000 \text{кН} \cdot \text{м}^2$; співвідношення жорсткості поперечного перерізу при стиску (розтязі) EA до жорсткості поперечного перерізу рами при згині $\frac{EA}{EI} = 50 \frac{1}{\text{м}^2}$.

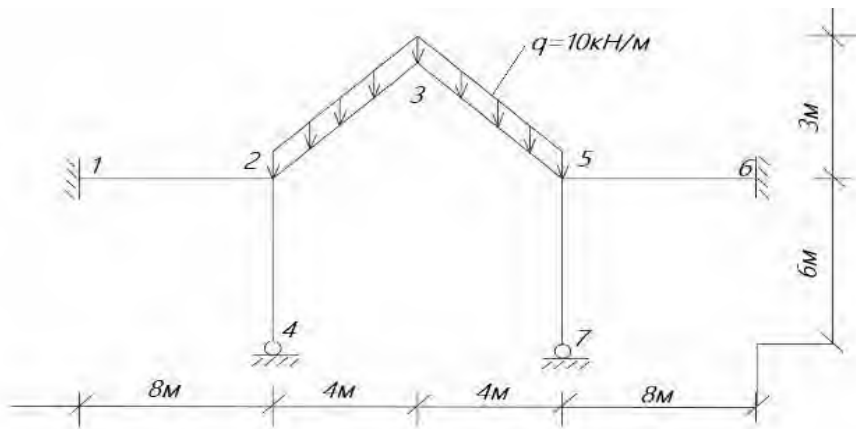



Рис. В2.1. Розрахункова схема рами

Хід проведення розрахунку:

1. Ознака схеми залежить від ступенів вільності у вузлі. Для розрахунку плоскої рами підходить 2 ознака схеми. Задаємо ім'я задачі, наприклад, «Лабораторна_2» і натискаємо ENTER , рис. В2.2.

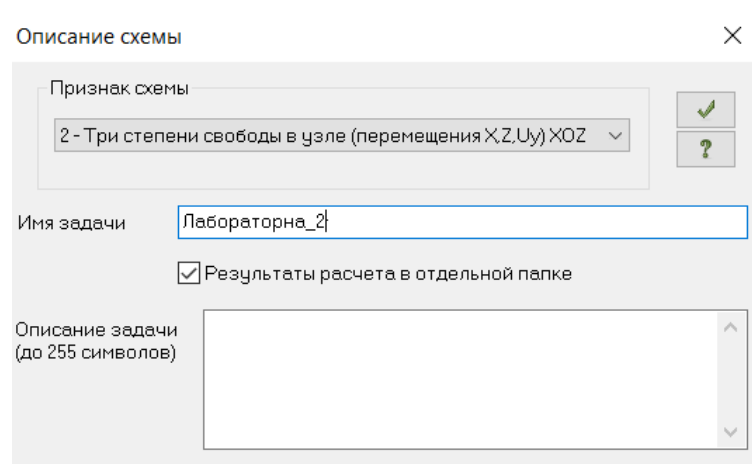

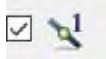




Рис. В2.2. Діалогове вікно **Опис схеми**

2. Обираємо команду  **Додати вузол**. За $(0;0;0)$ приймаємо координати


першого вузла . Другий вузол має координати

$(8;0;0)$. Для кращого відображення вузлів використовуємо команду 

Параметри відображення, у якій обираємо команди  **Номери**

вузлів,  **Вузли збільшені** та натискаємо перемалювати .

Четвертий вузол з координатами $(8;0;-6)$, третій $(12;0;3)$, п'ятий – $(16;0;0)$, шостий – $(16;0;-6)$ та останній – $(24;0;0)$.

3. На панелі створення і редагування обираємо команду  **Додати елемент**, за допомогою якої стержнями у довільному порядку з'єднуємо вузли між собою, рис. В2.3.

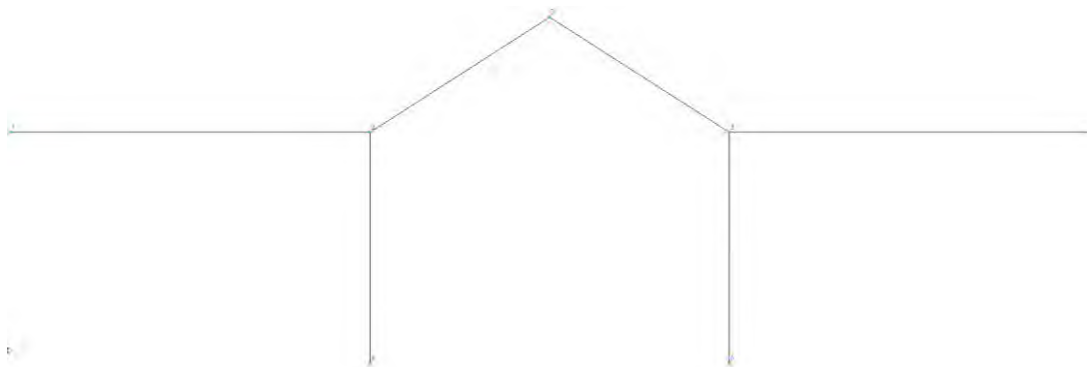


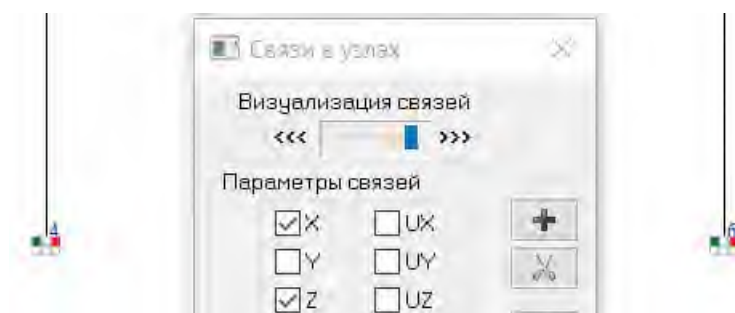


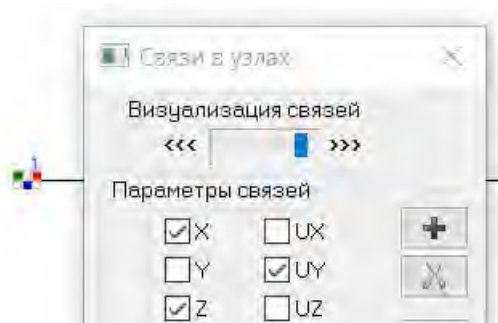
Рис. В2.3. Геометрична схема плоскої рами

4. Після створення елементів призначаємо в'язі. У лівому нижньому куті є команда  **Відмітка вузлів**. Обираємо вузли під номерами 4, 6, які мають дві реакції (горизонтальна по вісі X та вертикальна по Z). На панелі

Жесткости и связи є команда , у якій обираємо відповідні реакції.



Жорсткі защемлення у вузлах 1, 7 мають в'язі за напрямками X, Z та UY.



5. У центрі рами моделюємо шарнір. Обираємо перший похилий елемент через команду **Відмітка елементів**, переходимо до **Шарніри** та назначаємо шарнір по осі UY у другому вузлі 2 , на іншому похилому елементі обираємо шарнір UY у першому вузлі.

6. Задаємо рівномірно-розподілене навантаження через команду **Навантаження** на похилі елементи рами, що буде дорівнювати 1 т.м. Через **Параметри відображення** обираємо команду **Значення навантажень** та натискаємо перемалювати .

7. Вузлове навантаження задаємо знову через команду **Навантаження** у глобальній системі координат по осі Z. Його значення буде дорівнювати 10 тс.

8. Задаються жорсткості перерізів I – момент інерції, EI – згинальна жорсткість, EA – повздовжня жорсткість. Через команду



Жорсткості додаємо чисельну жорсткість (для стійок – вертикальних елементів) та задаємо значення параметрів

EF	<input type="text" value="5000"/>	т
Ely	<input type="text" value="100"/>	т*м ²

Додаємо другий тип жорсткості (для ригелів – горизонтальних елементів), але із збільшеними значеннями у два рази

EF	<input type="text" value="10000"/>	т
Ely	<input type="text" value="200"/>	т*м ²

Обираємо елементи рами та призначаємо їм жорсткості.

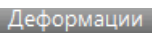

9. Рама готова до розрахунку. Натискаємо  Виконати розрахунок та перевіряємо  Протокол рішення, рис. В2.4.

```
Протокол расчета
Дата: 19.06.2021
Система: Intel(R) Core(TM) i5-6200U CPU @ 2.50GHz - 4 threads
Microsoft Windows 10 [x64] build 17134
Размер доступной физической памяти = 4030995904
16:47 Чтение исходных данных из файла C:\Users\Public\Documents\LIRA_SAPR\LIRA_SAPR 2016 NonCommercial\Data\laboratory 2 \lira
16:47 Контроль исходных данных основной схемы
Количество узлов = 7 (из них количество удаленных = 1)
Количество элементов = 6 (из них количество удаленных = 0)
ОСНОВНАЯ СХЕМА
16:47 Определяется порядок неизвестных
Количество неизвестных = 11
РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКИЕ ЗАГРУЗКИ
16:47 Формирование матрицы жесткости
16:47 Формирование вектора нагрузок
16:47 Галлопание матрицы жесткости
16:47 Вычисление неизвестных
16:47 Контроль решения
Формирование результатов
16:47 Формирование эпюр усилий
16:47 Формирование перемещений
16:47 Вычисление и формирование усилий в элементах
16:47 Вычисление и формирование реакций в элементах
16:47 Вычисление и формирование эпюр усилий в стержнях
16:47 Вычисление и формирование эпюр прогибов в стержнях
Формирование условных нагрузок на основную схему:
загрузка 1 P1=0 P2=0 P3=20 P4=0 P5=1,776566e+15
Расчет успешно завершен
Возвращено: время = 0 мкс
```

Рис. В2.4. Прокорл розрахунку плоскої рами

10. Аналіз отриманих результатів

Якщо у попередній роботі ми аналізували епюри M_y та Q_z , то у плоскій рамі маємо проаналізувати епюри трьох внутрішніх зусиль M_y , Q_z та N .

Через панель **Деформации**  вмикаємо відображення вихідної і деформованої схеми , рис. В2.5.

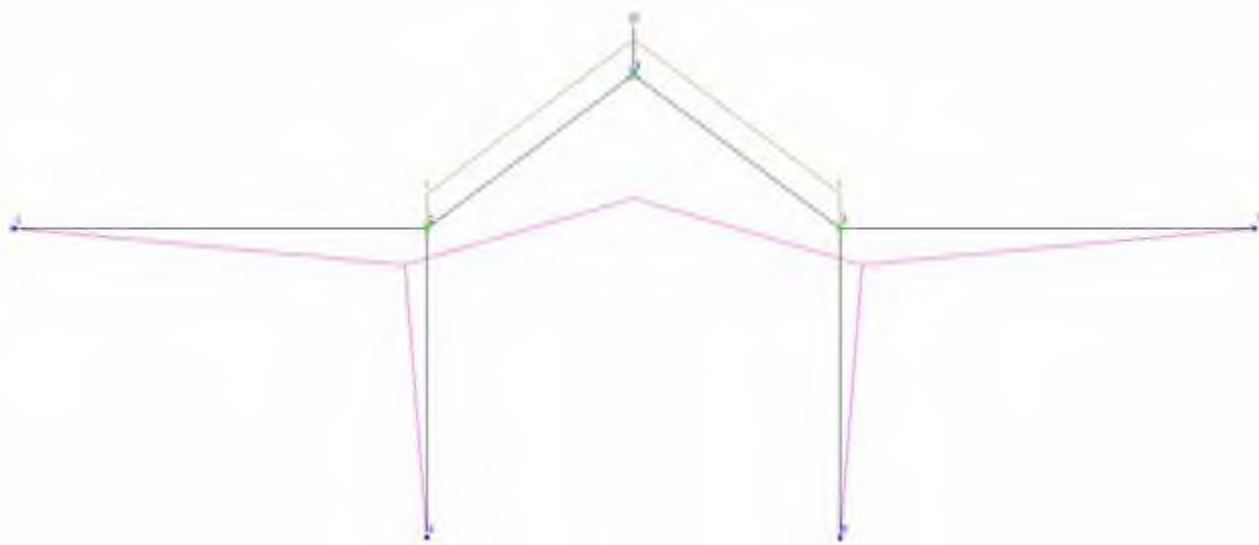


Рис. В2.5. Деформована схема плоскої рами

Для того, щоб вивести на екран переміщення по осі OZ , натискаємо на команду **Z** **Мозаїка переміщень за $Z(G)$** , рис. В2.6.

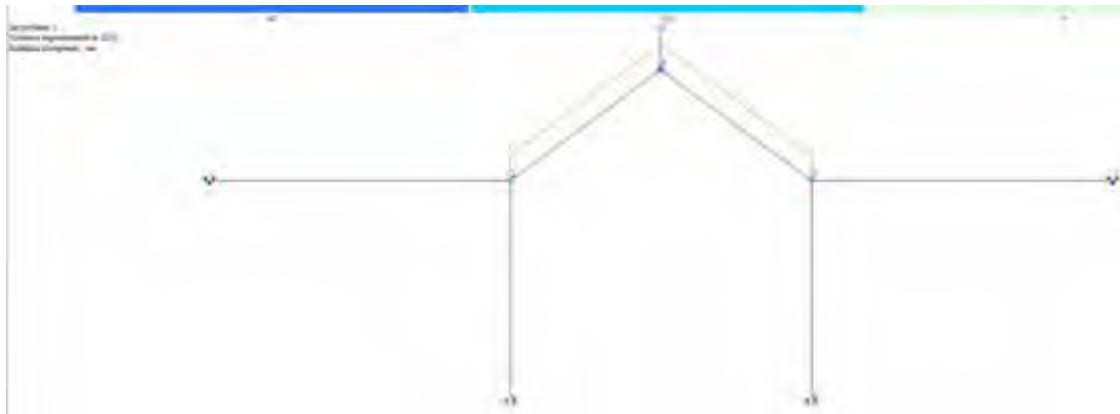


Рис. В2.6. Переміщення вузлів рами за напрямком вісі Z

Відображення кутів поворотів у вузлах (rad) вмикаємо через команду **U_y** **Мозаїка переміщень за U_y** , рис. В2.7.



Рис. В2.7. Мозаїка переміщень по U_y

Відображення горизонтальних переміщень у вузлах схеми (паралельно вісі X) вмикається через команду **X**, рис. В2.8.



Рис. В2.8. Мозаїка переміщень за напрямком X

Після аналізу переміщень переходимо до панелі **УСИЛЛЯ В СТЕРЖНЯХ**. Епюра поперечних сил (tn) відображається через команду **Qz**, рис. В2.9.



Рис. В2.9. Епюра поперечних сил Q_z

Епюра моментів – через команду **My**, рис. В2.10.



Рис. В2.10. Епюра моментів M_y

Епюра повздовжніх сил – відповідно через команду **N**, рис. В2.11.

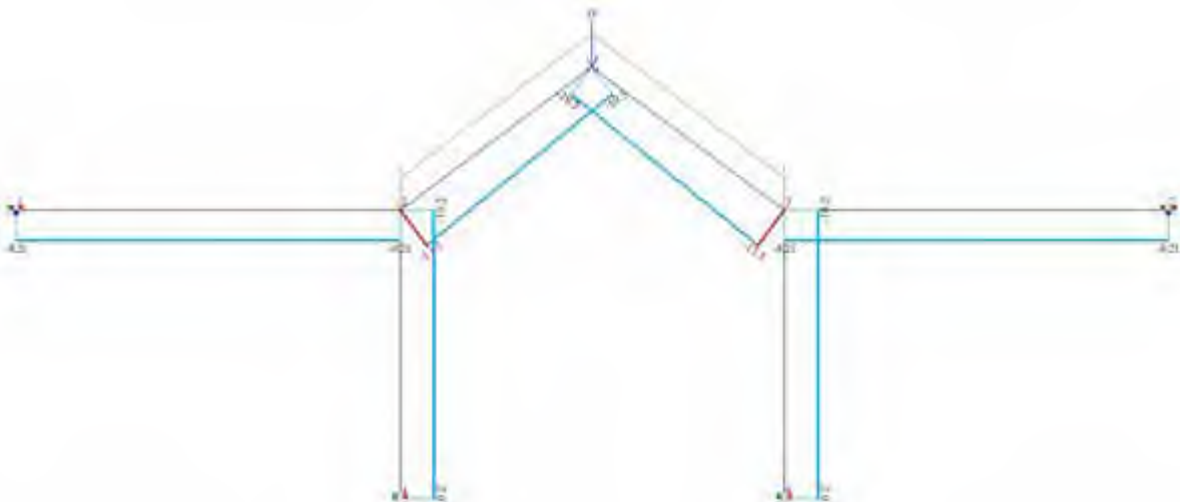


Рис. В2.11. Епюра повздовжніх сил N

Висновок: У лабораторній роботі №2 проведений чисельний розрахунок плоскої рами на статичні дії навантаження у ПК «ЛІРА САПР». Для побудови розрахункової схеми використовувалися стержневі скінченні елементи СЕ2.

Розрахункова схема виконана за другою ознакою схеми (3 ступені вільності у вузлі (переміщення вздовж осей за напрямками X , Z , та поворотом навколо вісі $OY - U_y$), площина побудови XOZ).

Побудовані епюри згинального моменту M_y (рис. В2.10), поперечної сили Q_y (рис. В2.9) та поздовжніх сил N (рис. В2.11).

В.3. Приклад розрахунку статично визначеної ферми покриття

Вихідні дані для розрахунку:

№ п.п.	Номер схеми	$d, м$	$h, м$	$P_1, кН$	$P_2, кН$
3	3	4,0	5,0	25	50

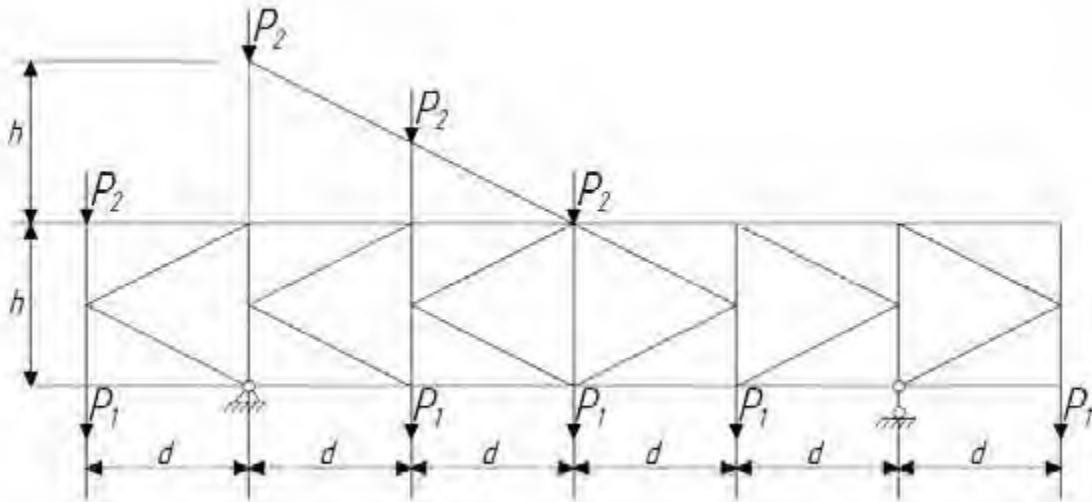



Рис. В3.1. Розрахункова схема сталевій ферми покриття

Хід проведення розрахунку:

1. Для розрахунку статично визначеної ферми підходить ознака схеми 2.
- Задаємо ім'я задачі «Лабораторна_3», рис. В3.2.

Рис. В3.2. Діалогове вікно **Опис схеми**

2. У ПК «ЛІРА-САПР» ферму покриття можна задати по вузлах та елементах – створення вузлів за координатами, а потім з'єднання їхніми

елементами. Але існує простіший спосіб – готові шаблони. На панелі **Создание** є команда  **Генерація ферм**. Все, що нам потрібно це задати

значення  , рис. В3.3.

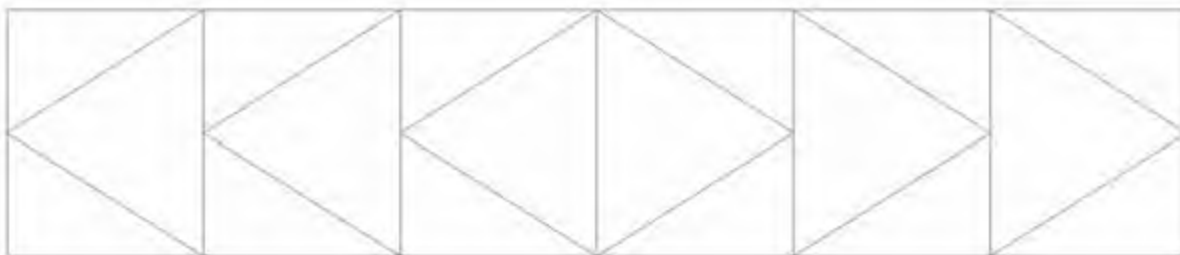




Рис. В3.3. Геометрична схема ферми покриття

Вузли, яких не вистачає, додаємо через команду  **Додати вузол** і з'єднуємо їх за допомогою команди  **Додати елемент**, рис. В3.4.

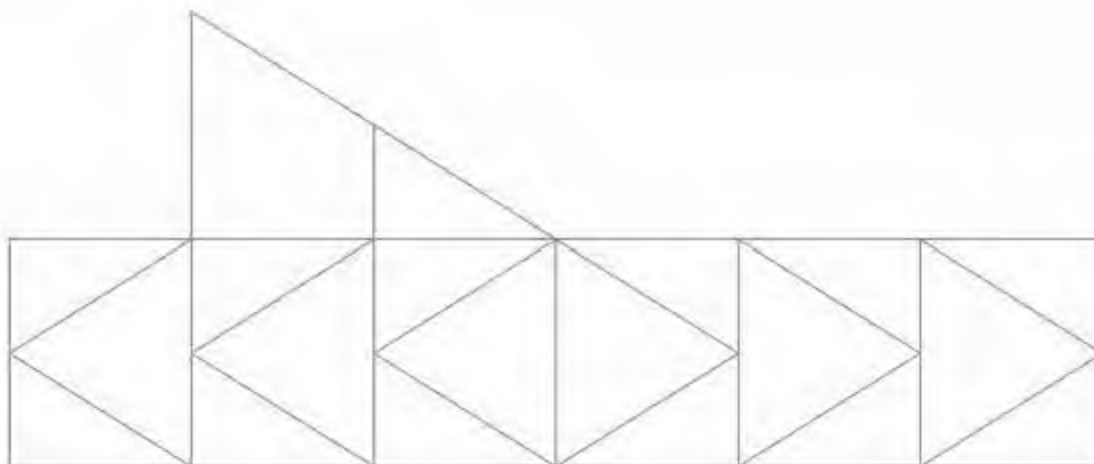


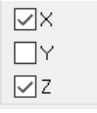
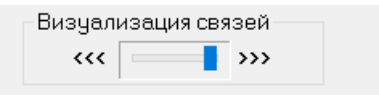




Рис. В3.4. Геометрична схема статично визначеної ферми покриття

3. У відповідності до завдання, ферма спирається на дві опори: зліва – шарнірно нерухома, у правій частині – шарнірно рухома. Виділяємо потрібний вузол через команду  **Вибір вузлів**, натискаємо на команду 

і у першому випадку призначаємо в'язі за . Для другої опори

призначаємо лише одну в'язь Z. Для перевірки збільшуємо повзун

візуалізації в'язей .

4. Приймаємо однакову жорсткість для усіх елементів. Обираємо через команду  **Вибір елементів** розрахункову схему і переходимо в  **Жорсткості**. Обираємо переріз, який складається із двох кутиків і задаємо висоту профілю, рис. В3.5.

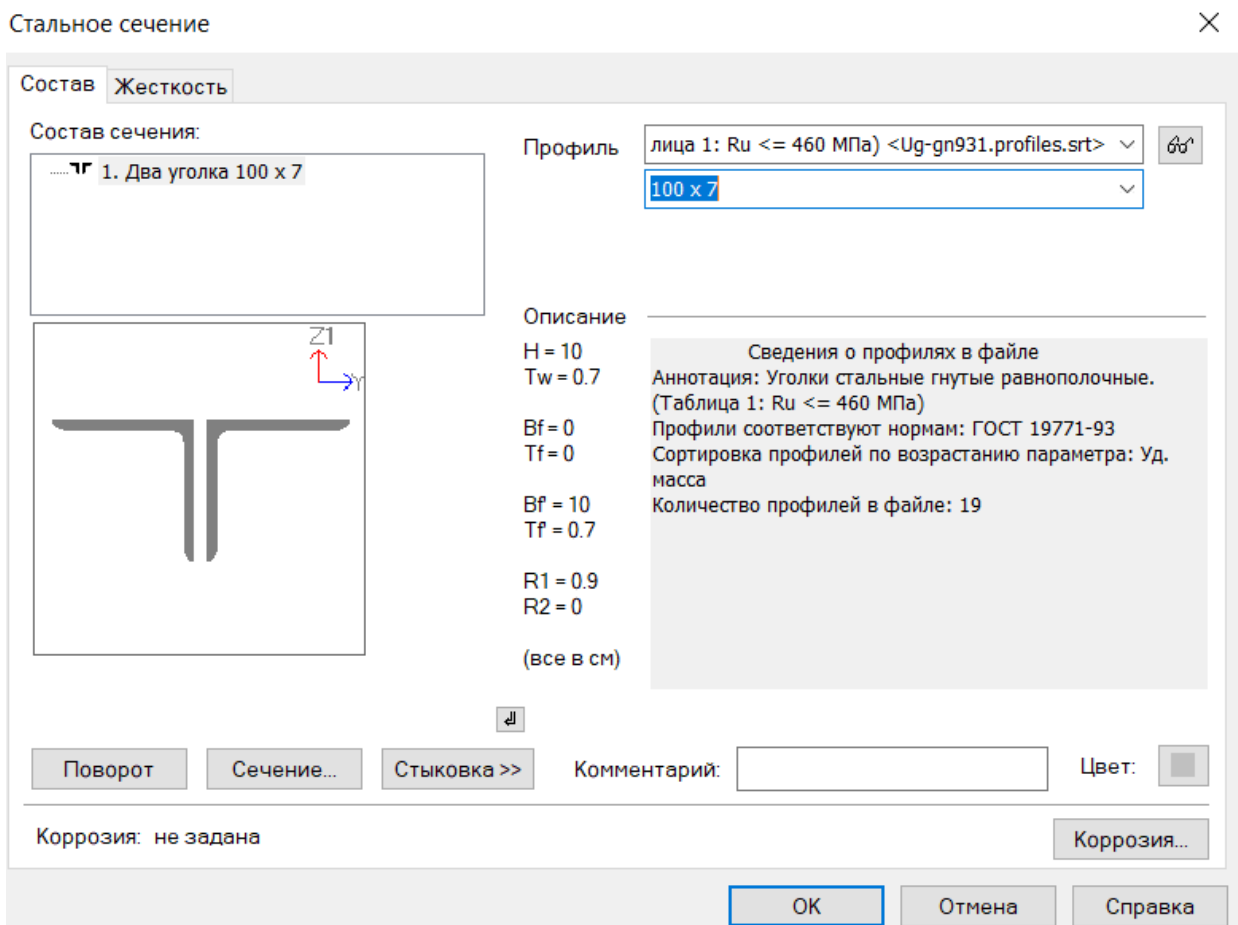



Рис. В3.5. Вибір жорсткості для статично визначеної сталеві ферми покриття

5. Тепер задаємо навантаження на вузли. Сили P у верхніх вузлах відрізняються від нижніх, тому обираємо вузли, в які будемо задавати навантаження та переходимо до команди  **Навантаження**. Сила P_2 буде дорівнювати $5mc$, а $P_1 = 2,5mc$, рис. В3.6.

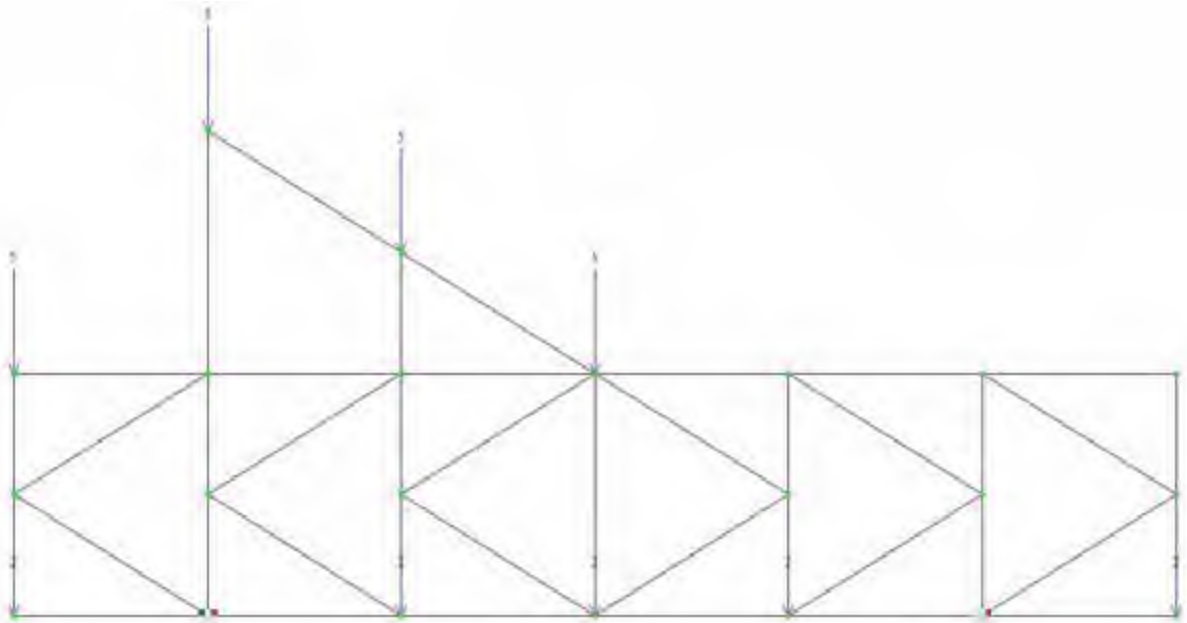


Рис. В3.6. Прикладення статичних навантажень до ферми покриття

6. Натискаємо  **Виконати повний розрахунок** та перевіряємо

Протокол рішення, рис. В3.7.



```

Протокол рішення
Дата: 19.04.2021
Комп'ютер: Intel(R) Core(TM) i5-6202U CPU @ 2.30GHz 4 threads
Microsoft Windows 10 x64-bit, Build 17763
Вміст доступної фізичної пам'яті = 324128000
10:49 Число виконаних діжок із файла C:\Users\Fabian\Desktop\LENA_SAP2016\SAP2016\NonCommercial\Baza\laboratorna_3-.exe
10:49 Контроль вихідних даних основної схеми
Кількість вузлів = 43 (із них кількість вузлів-опори = 22)
Кількість елементів = 11 (із них кількість вузлів-опори = 12)
ОСНОВНА СХЕМА
10:49 Співвідношення порядку невизначених
Кількість невизначених = 63
РАХУНОК НА СТАТИЧНОМУ ЗАГРУЖЕННІ
10:49 Формування матриць жорсткості
10:49 Формування векторів навантажень
10:49 Розв'язання матриць жорсткості
10:49 Вивчення невизначених
10:49 Контроль рішення
Формування результату
10:49 Формування таблиць
10:49 Формування переміщень
10:49 Вивчення та формування умов в елементах
10:49 Вивчення та формування умов в вузлах
10:49 Вивчення та формування сил у вузлах в старших
10:49 Вивчення та формування сил у вузлах в старших
Сформовано умовні навантаження на основну схему:
Навантаження 1: P1=0 P2=0 P3=0 P4=0 P5=0 P6=0
Рахунок успішно завершений
Загальний час = 0 сек

```

Рис. В3.7. Протокол виконання розрахунку сталеві ферми покриття

7. Аналіз отриманих результатів

Переходимо на вкладку  **Аналіз**. Відкриваємо вихідну і деформовану схеми одночасно через команду , рис. В3.8.

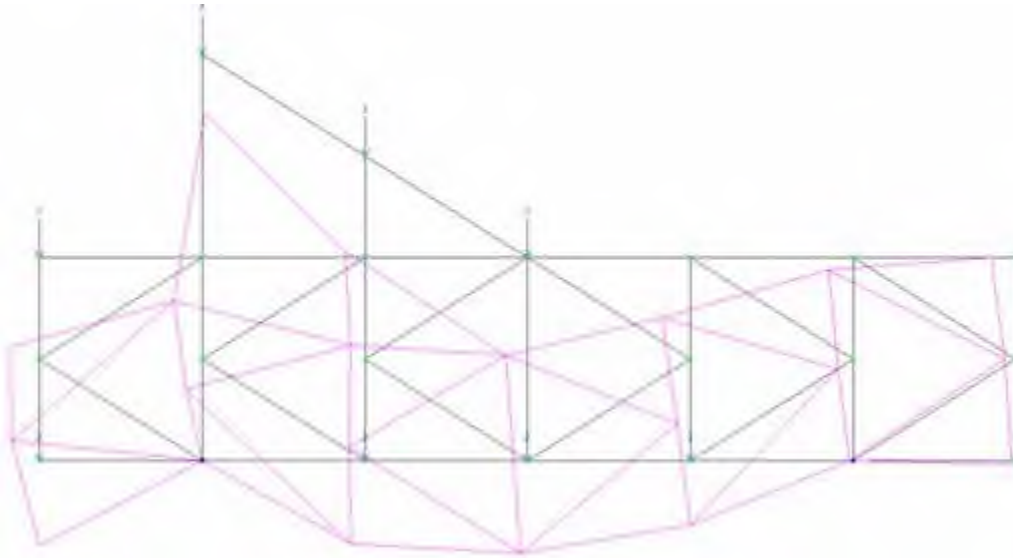



Рис. В3.8. Деформована схема сталевї ферми покриття

Аналіз деформованої схеми потрібно починати з аналізу переміщень. Масштаб переміщень можна подивитись через команду  і дорівнює

Коефіцієнт искаження	858.959
----------------------	---------

. У реальності переміщення будуть значно меншими, головне, щоб їхні значення після розрахунку не дорівнювали тисячам або мільйонам міліметрів, інакше це буде сигналізувати про помилку при задаванні вихідних даних задачі.


Для того, щоб вивести на екран переміщення за напрямком осі Z , натискаємо команду  на панелі **Деформації**, рис. В3.9.



Рис. В3.9. Мозаїка переміщень за напрямком вісі Z



Мозаїку переміщень U_y та X можна переглянути завдяки відповідним командам  та , рис. В3.10 та рис. В3.11.






Рис. В3.10. Мозаїка переміщень по U_y



Рис. В3.11. Переміщення вузлів за напрямком осі OX

На панелі **Усилия в стержнях** обираємо команди M_y , N , Q_z для послідовного відображення епюр внутрішніх зусиль у фермі покриття.

Щодо кращого розуміння епюр через команду  **Параметри відображення** необхідно включити  **Штриховку на епюрах**. Інформацію щодо окремих елементів можна дізнатись шляхом використання команди  **Інформація про вузол або елемент**, рис. В3.12–В3.14.

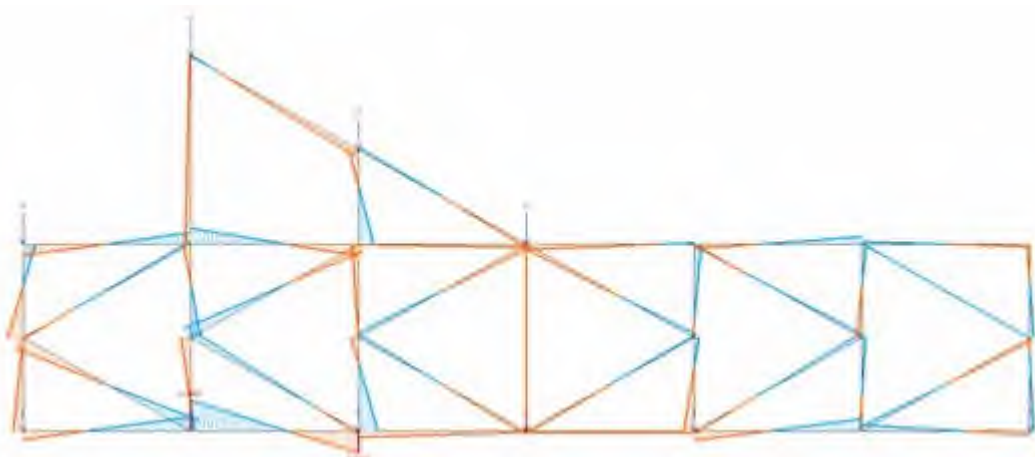


Рис. В3.12. Епюра згинальних моментів M_y

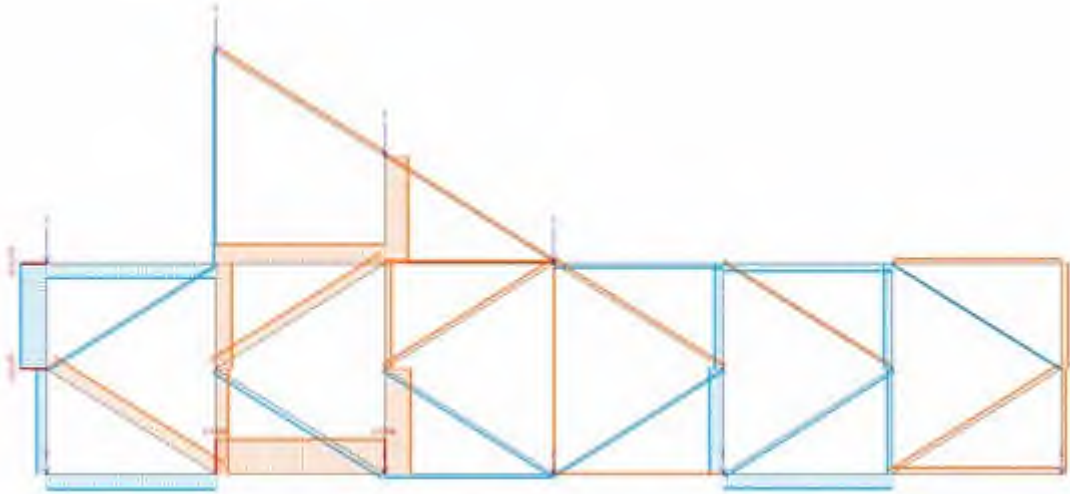


Рис. В3.13. Епюра поперечних сил Q_z

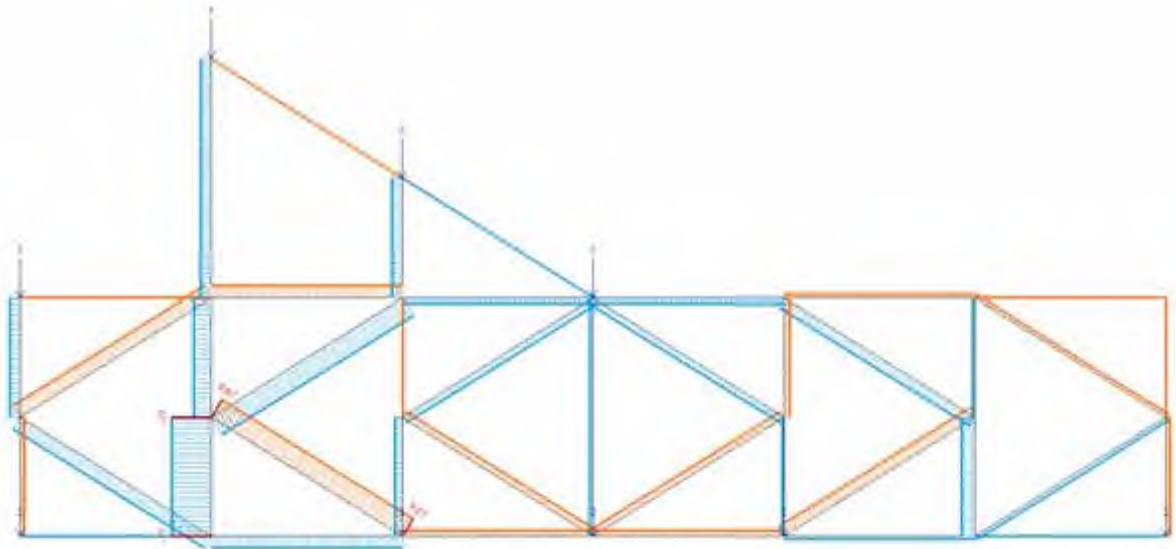


Рис. В3.14. Епюра повздовжніх сил N

Висновок: У даній лабораторній роботі №3 проведений чисельний розрахунок сталеві статично визначеної ферми покриття.

Розрахункова схема виконана за ознакою схеми 2 (три ступені вільності у вузлі (переміщення X , Z , U_y), площина побудови XOZ). Побудовано епюри внутрішніх зусиль у ПК «ЛІРА-САПР»: згинальних моментів M_y (рис. В3.12), поперечних сил Q_z (рис. В3.13) та повздовжніх сил N (рис. В3.14).

В.4. Приклад розрахунку статично визначеної арки покриття

Вихідні дані для розрахунку:

№ схеми	Рівняння осі криволінійної ділянки	$l, м$	$\frac{f}{l}$	$\frac{h}{l}$	$F_1, кН$	$F_2, кН$	$F_3, кН$	$F_4, кН$	$F_5, кН$	$\frac{q_1, кН}{м}$	$\frac{q_2, кН}{м}$	$\frac{Q_3, кН}{м}$
3	парабола	22	0,4	0,5	150	150	–	–	–	–	40	–

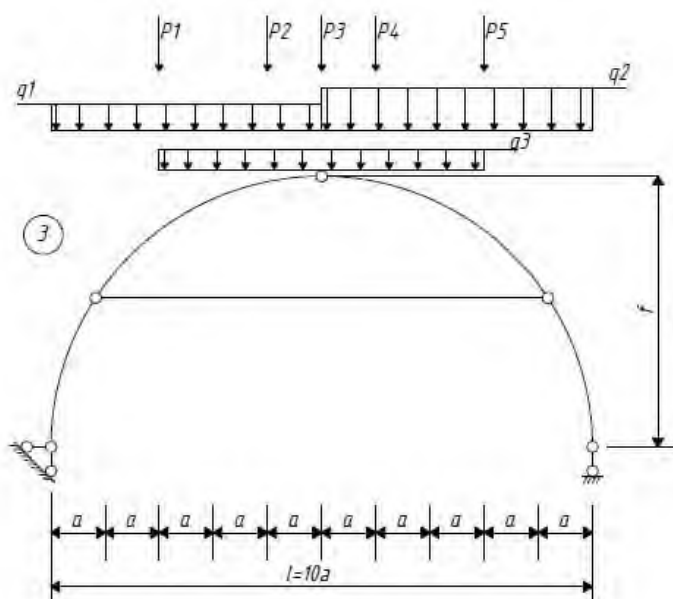



Рис. В4.1. Розрахункова схема конструкції арки покриття

Хід проведення розрахунку:

- З точки зору будівельної механіки [8, 9] статично визначена арка (рис. В4.1) є плоскою системою, тому обираємо 2 ознаку схеми. Задаємо ім'я задачі «Лабораторна_4» і натискаємо , рис. В4.2.

Описание схемы ×

Признак схемы

2 - Три степени свободы в узле (перемещения X,Z,Uy) XOZ ✓

?


Имя задачи

Результаты расчета в отдельной папке

Описание задачи (до 255 символов)


Рис. В4.2. Діалогове вікно **Опис схеми**

2. Рівнянням арки у даному випадку є парабола. У ПК «ЛІРА-САПР» є

можливість побудувати арку  **По колу**. Тобто, можна побудувати половину арки, а потім її віддзеркалити. Для побудови потрібно визначити коефіцієнт K для розрахунку координат проміжних вузлів, рис. В4.3.

Парабола			
	$l =$	22	m
	$f =$	8,8	m
№ п.п.	x	z	k
1	0	0	0,072727
2	1	0,072727	
3	2	0,290908	
4	3	0,654543	
5	4	1,163632	
6	5	1,818175	
7	6	2,618172	
8	7	3,563623	
9	8	4,654528	
10	9	5,890887	
11	10	7,2727	
12	11	8,799967	

Рис. В4.3. Розрахунок координат проміжних вузлів

Переходимо до побудови схеми через  **По колу** і задаємо параметри, рис. В4.4.

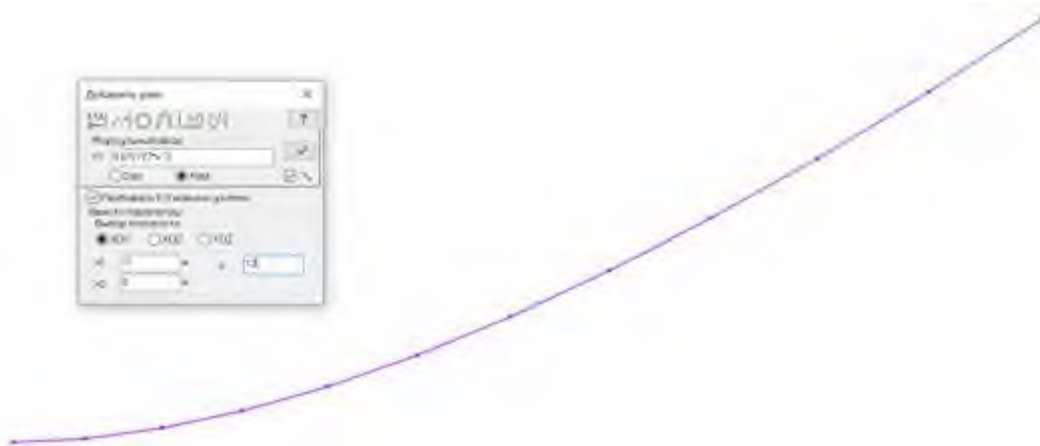


Рис. В4.4. Побудова геометричної схеми половини арки

Для того, щоб перевернути арку, потрібно скористатися функцією 


Вибір елементів, виділити схему і обрати  **Переміщення симетрично** відносно площини XOZ , рис. В4.5.



Рис. В4.5. Переміщення симетричної половини арки


Для того, щоб повністю відобразити арку покриття, необхідно виділити усі елементи і перейти до  **Копіювання симетрично**, важливо при цьому правильно обрати площину, рис. В4.6.



Рис. В4.6. Геометрична схема статично визначеної арки покриття




3. Виділяємо вузли , щоб задати на них опори. Переходимо у  **В'язі**, де для шарнірно нерухомої опори вибираємо вісі X та Z , для рухомої лише вісь Z та вмикаємо візуалізацію, рис. В4.7.



Рис. В4.7. Опори на вузлах статично визначеної арки покриття

4. Задаємо жорсткість елементам арки піктограмою  **Жорсткості**. Для розрахунку зусиль і переміщень в арці буде достатньо заданого двотавра.

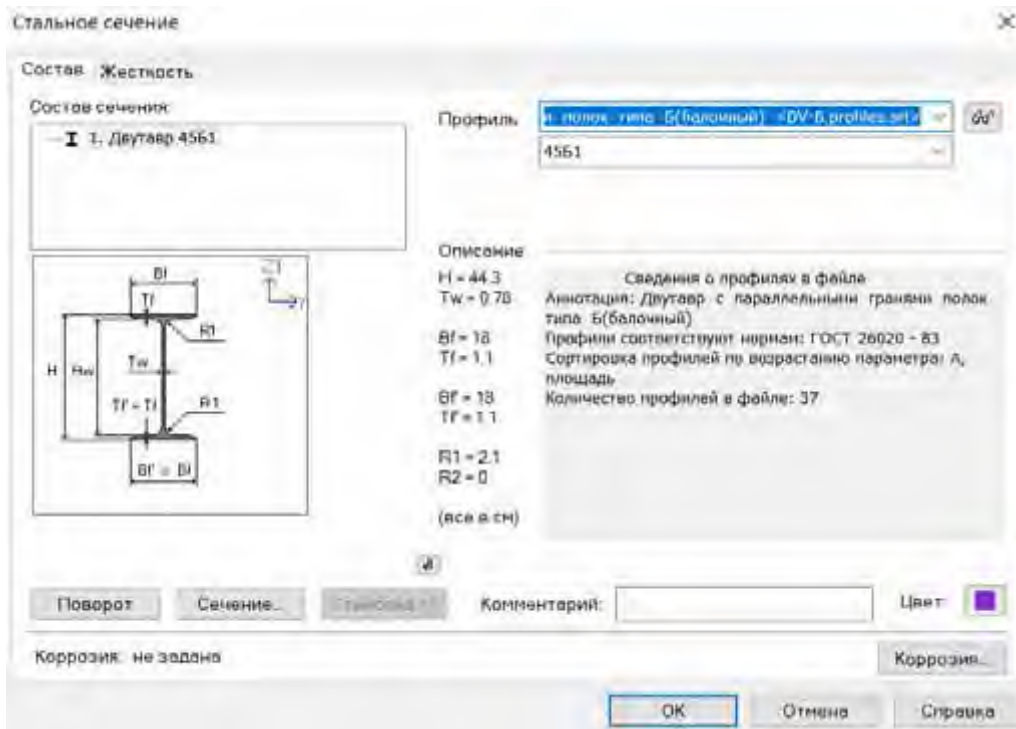



Рис. В4.8. Призначення жорсткості елементам арки покриття

5. Задаємо вузлове та лінійно-розподілене навантаження за допомогою команди  **Навантаження**.

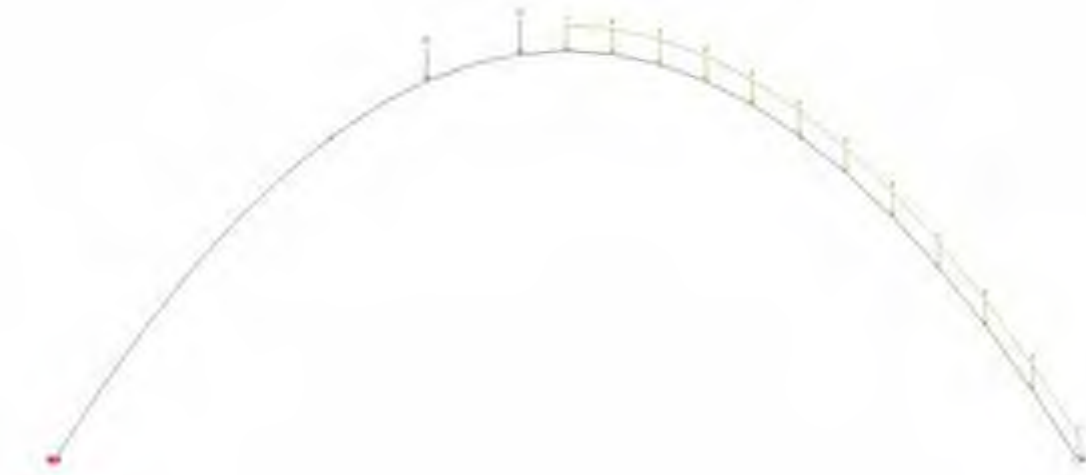

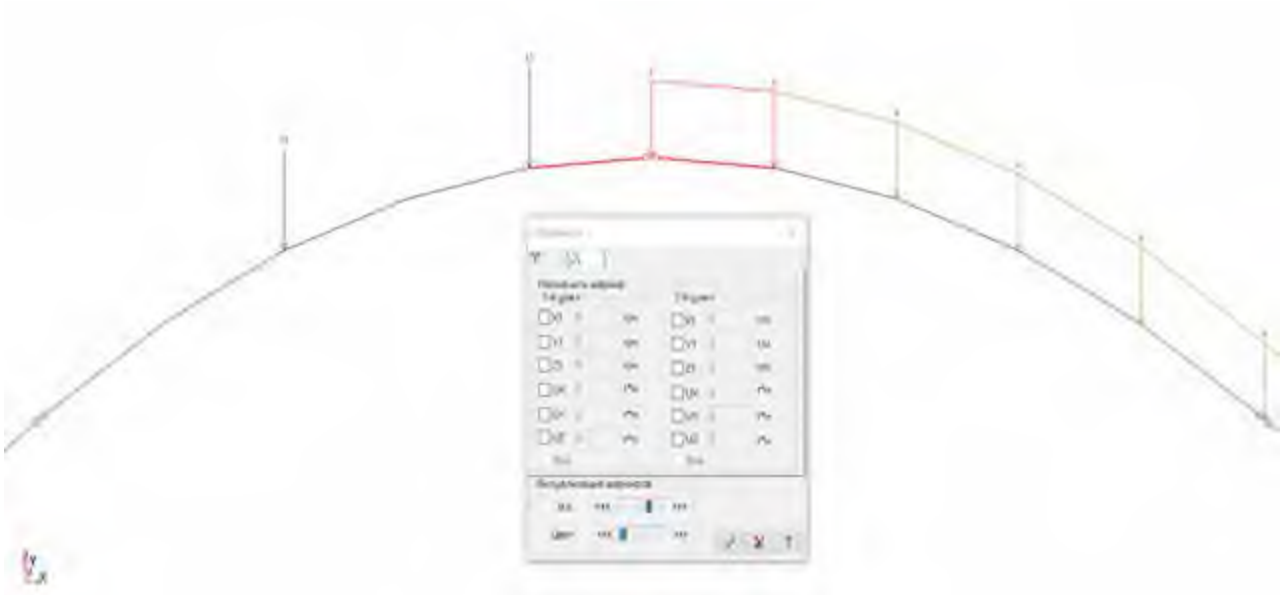


Рис. В4.9. Навантаження на арку покриття

6. Шарніри задаються не у вузлах, а в елементах, які виділяємо через опцію . Щоб задати шарнір у вузлі, ми маємо обрати елементи, що примикають саме до цього вузла, рис. В4.10. Переходимо до команди

 **Шарніри**.



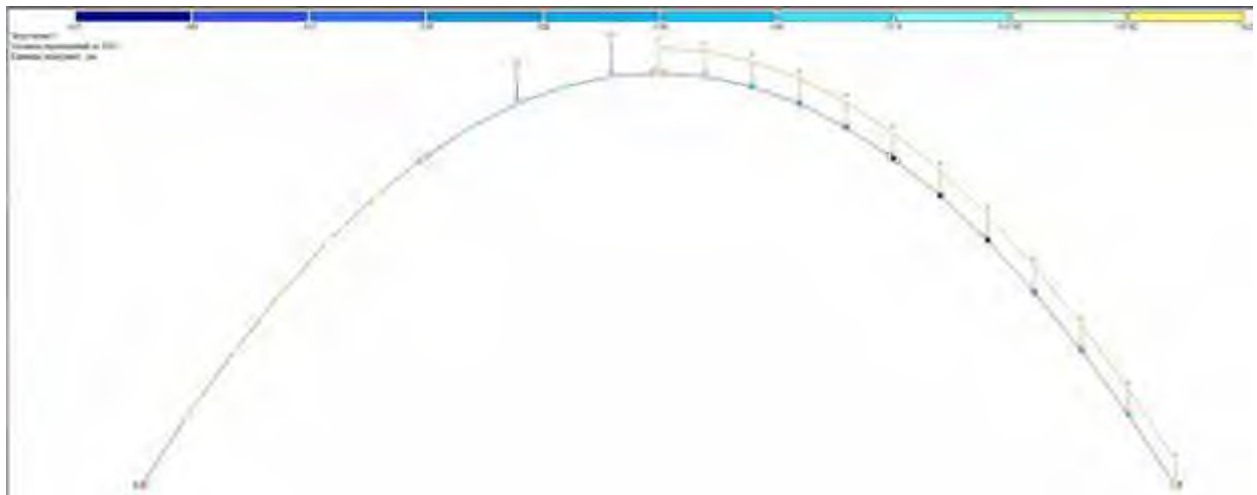


Рис. В4.12. Мозаїка переміщень за напрямом осі Z

Мозаїку переміщень по U_y та вісі X можна відобразити шляхом використання команди U_y та X , рис. В4.13 та рис. В4.14.

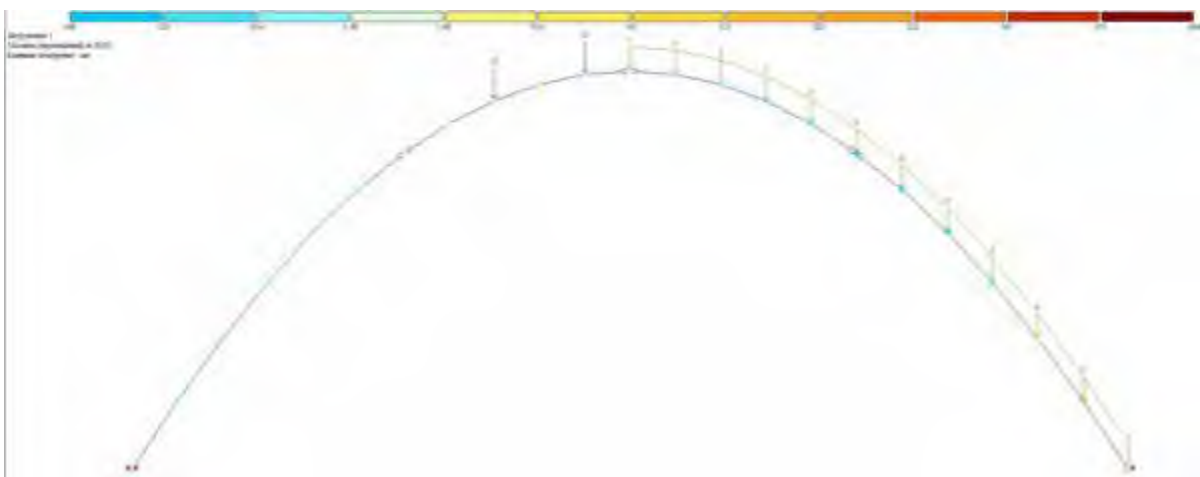


Рис. В4.13. Мозаїка переміщень за напрямом осі X

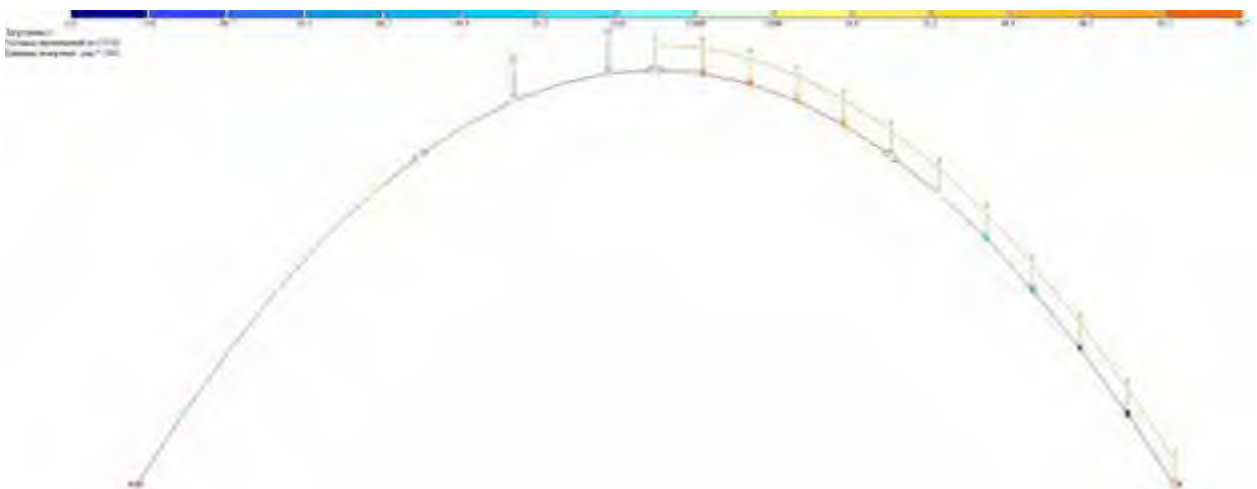


Рис. В4.14. Мозаїка переміщень за U_y

Після аналізу переміщень переходимо до панелі **УСИЛЛЯ В СТЕРЖНЯХ**.

Відображення епюри поперечних сил (tn) вмикаємо через команду **Qz**,
рис. В4.15.

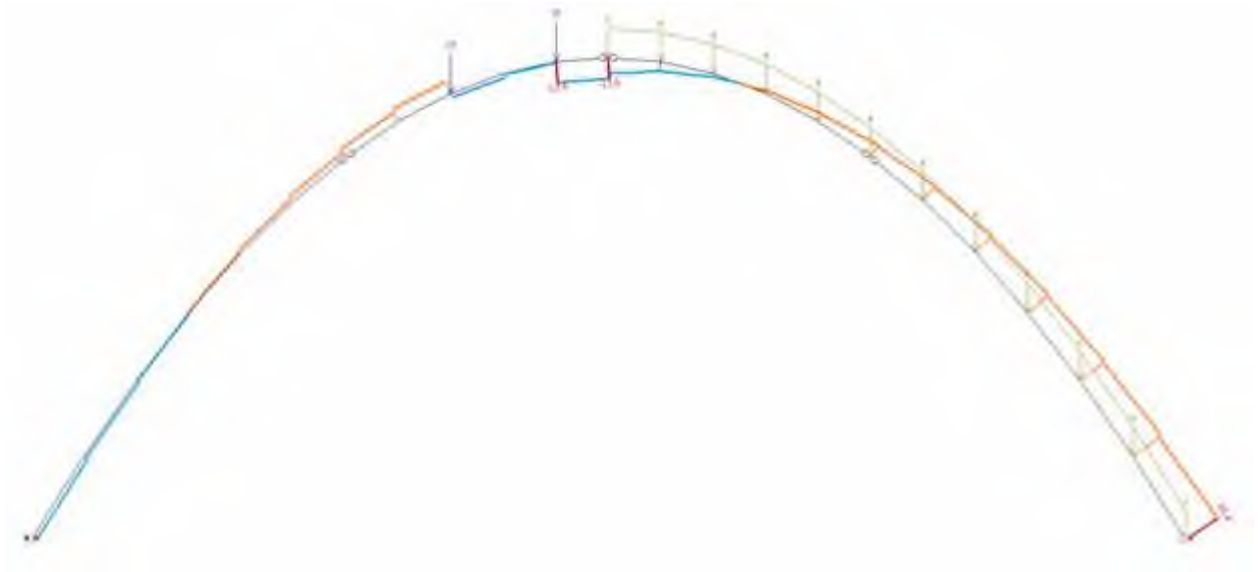


Рис. В4.15. Епюра поперечних сил Q_z , побудована в арці покриття

Відображення епюри згинальних моментів здійснюється шляхом
використання команди **My**, рис. В4.16.

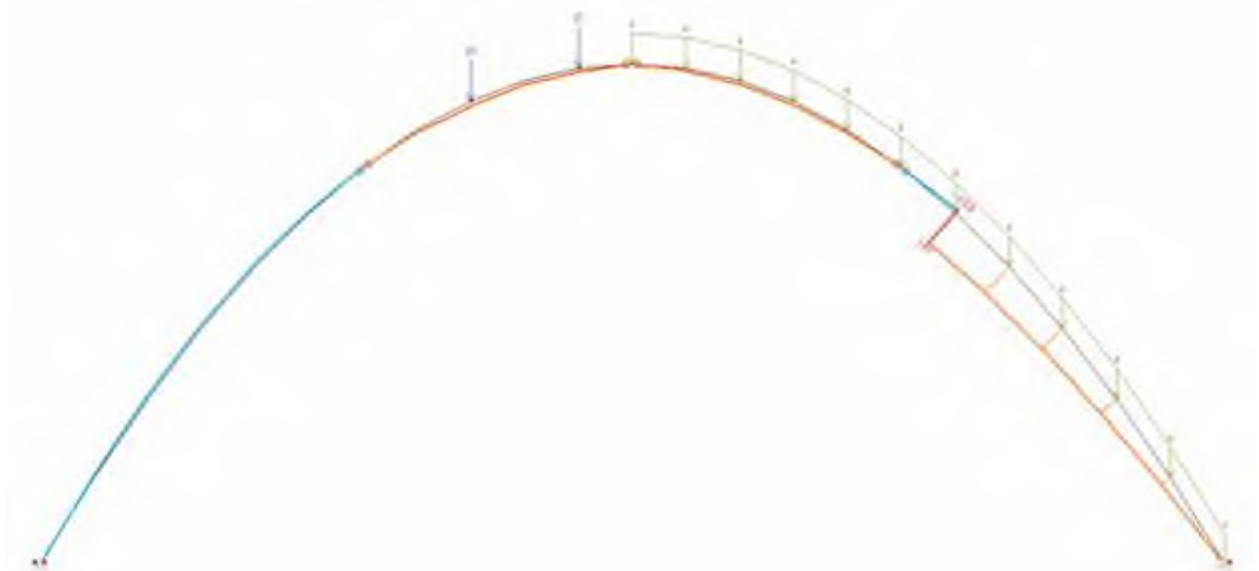


Рис. В4.16. Епюра згинальних моментів M_y

Відображення епюри поперечних сил здійснюється шляхом
використання команди **N**, рис. В4.17.

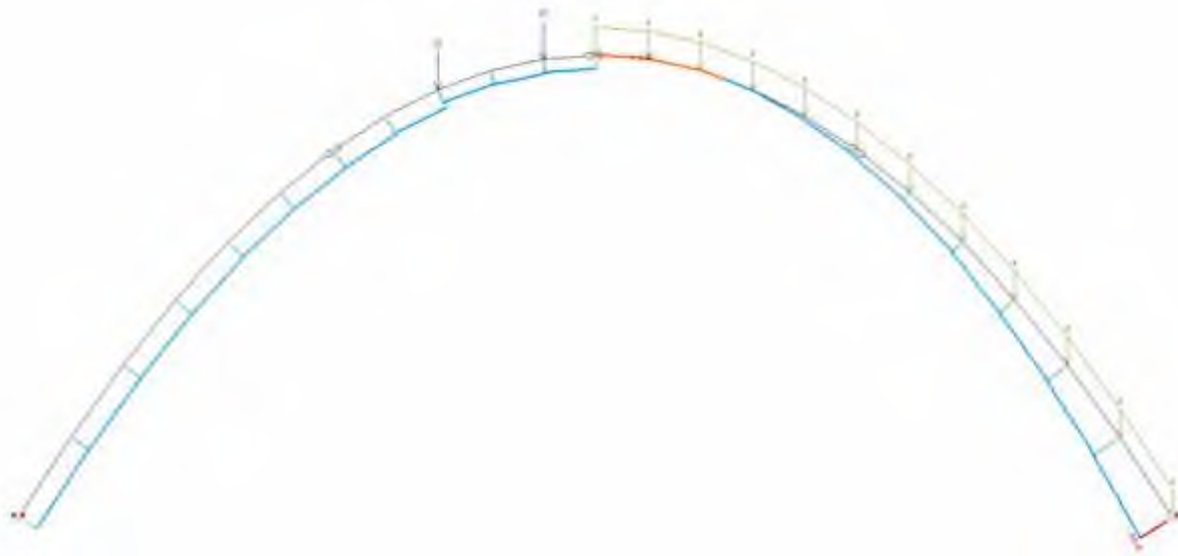


Рис. В4.17. Епюра повздовжніх сил N

Висновок: У даній лабораторній роботі №4 проведений чисельний розрахунок статично визначеної арки покриття у ПК «ЛІРА-САПР».

Розрахункова схема виконана за ознакою схеми 2 (три ступені вільності у вузлі (переміщення вздовж осей X , Z та поворот навколо вісі $OY - U_y$), площина побудови XOZ). Побудовані епюри внутрішніх зусиль у ПК «ЛІРА-САПР»: згинальних моментів M_y , поперечних сил Q_z та повздовжніх сил N .

В.5 Приклад розрахунку і конструювання елементів балкової клітки

Вихідні дані для розрахунку, табл. В5.1:

Таблиця В5.1

№ літери прізви.	Вихідні дані	Літери прізвища студента									
		А, І, Т	Б, Ї, У	В, К, Ф	Г, Л, Х	Д, М, Ц	Е, Н, Ч	Є, О, Ш	Ж, П, Ї	З, Р, Ю	И, С, Я
1	розміри будівлі у плані	3L × 3B	3L × 2B	2L × 4B	2L × 3B	2L × 4B	3L × 2B	3L × 3B	4L × 4B	3L × 2B	4L × 4B
2	проліт головної балки <i>L, м</i>	13	12	11	15	14	12	13	14	15	11
3	крок колон, <i>B, м</i>	6	5,5	7,5	8	6,5	6	6,5	7	8	7,5
4	кількість поверхів, <i>шт.</i>	2	3	4	2	4	3	2	3	2	4
5	висота поверху, <i>м</i>	3,0	3,4	3,6	4,0	3,0	4,2	3,4	3,8	3,0	3,4
6	корисне навантаження на поверх площадки, <i>q, кН/м²</i>	22	26	24	28	24	22	18	20	30	24
7	з'єднання балок настилу із головними балками	на одному рівні	поверхове	на одному рівні	поверхове	на одному рівні	поверхове	на одному рівні	поверхове	на одному рівні	поверхове
8	з'єднання головних балок колонами (обпірання)	зверху	збоку	зверху	збоку	зверху	збоку	зверху	збоку	зверху	збоку
9	матеріал балок настилу і головних балок	C245	C255	C285	C345	C245	C345	C345	C255	C285	C285
10	матеріал колон і настилу	C235	C245	C235	C255	C235	C245	C255	C245	C235	C235

Застосування сталевих настилів обумовлене використанням листів товщиною: $t = 10 \dots 12 \text{ мм}$ у випадку рівномірно-розподіленого навантаження

$$q = (21 - 30) \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Збір навантажень на сталеву балку перекриття зручно виконувати у табличній формі (табл. В5.2).

Таблиця В5.2

Збір навантажень на балку сталевого настилу, товщиною 10 мм

№	Найменування	$\gamma, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$	$t, \text{ м}$	$g_n, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$	γ_m	$g_p, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$
1	сталевий лист	78,5	0,01	0,785	1,05	0,824

Після визначення кроку другорядних балок перекриття $L_{дб}$ (рис. В5.1), необхідно розробити ескіз балкової клітини із розташуванням усіх елементів (приклад на рис. В5.1, наведений для балкової клітки $2L \times 4B$):

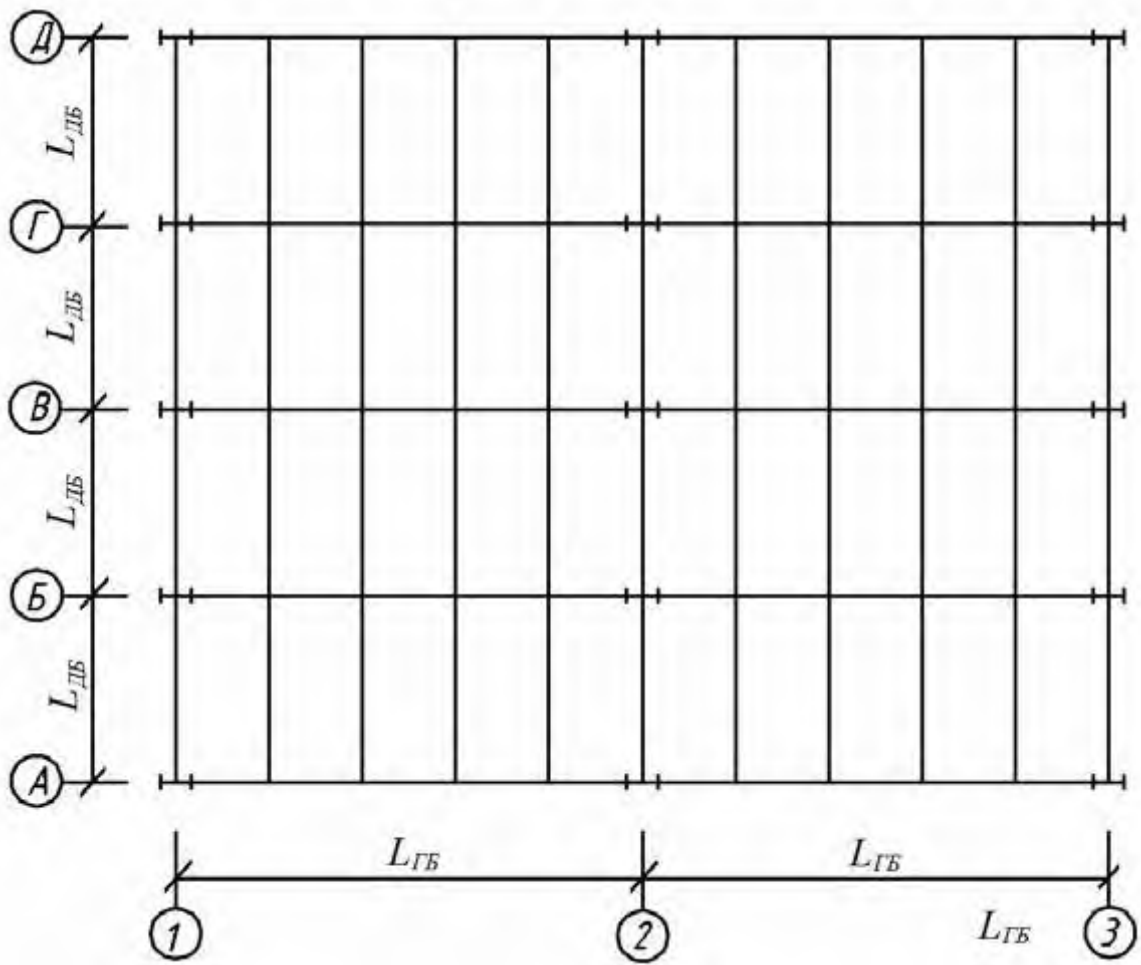


Рис. В5.1. План перекриття сталевій балкової клітини

1. Визначення навантаження на другорядну балку перекриття.

Визначаємо характеристичне і розрахункове значення навантаження на сталеву другорядну балку перекриття за формулами (5.1) та (5.2):

$$q_n = (P_n + q_H) \cdot l_H = \left(24 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} + 0,785 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right) \cdot 3\text{м} = 74,35 \frac{\text{кН}}{\text{м}};$$

$$q = (\gamma_f \cdot P_n + \gamma_{f,B,B} \cdot q_H) \cdot l_H = \left(1,2 \cdot 24 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} + 1,05 \cdot 0,785 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right) \cdot 3\text{м} = 88,87 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

2. Підбір перерізу прокатного сталевий двотавра.

Визначаємо згинальний момент, що виникає у другорядній балці, за формулою:

$$M = \frac{q \cdot l_{op.б.}^2}{8} = \frac{88,87 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot (6\text{м})^2}{8} = 399,92 \text{кНм}.$$

Визначаємо необхідний момент опору прокатного сталевго двотавра за формулою:

$$W_{необх.} = \frac{M}{c \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{39992 \text{кНсм}}{1,12 \cdot 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 1} = 1487,8 \text{см}^3.$$

Відповідно до отриманого $W_{необх.}$ підбираємо за сортаментом прокатних двотаврів (табл. А1, додаток А), двотавр $W_x \geq W_{необх.}$ і виписуємо його характеристики.

Приймаємо двотавр №50Б1 з $W_x = 1511 \text{см}^3$.

3. Розрахунок сталевго головної балки перекриття.

Вихідні дані для проєктування головної балки (за завданням):

→ проліт головної балки $L_{з.б.} = 15 \text{м}$;

→ сталь марки С 245 з розрахунковим опором $R_y = 240 \text{МПа}$.

4. Визначення навантаження на головну балку перекриття.

Характеристичне значення рівномірно-розподіленого навантаження на головну балку обчислюємо за формулою:

$$m = 0,785 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} + 73 \frac{\text{кг}}{\text{м}} \cdot \frac{100}{3 \text{м}} = 0,785 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} + 2,148 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 2,94 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2};$$

$$q_n = 1,03 \left(24 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} + 2,94 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right) \cdot 6 \text{м} = 166,49 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

а **розрахункове** значення рівномірно-розподіленого навантаження:

$$q = 1,03 \left(24,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 1,2 + 2,94 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 1,05 \right) \cdot 6 \text{м} = 197,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

5. Визначення розмірів перерізу головної балки перекриття.

Висота головної балки визначається шляхом попереднього обчислення розрахункового згинального моменту і необхідного моменту опору перерізу за формулами:

$$M = \frac{q \cdot L_{ГБ}^2}{8} = \frac{197,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot (15 \text{м})^2}{8} = 5543,4 \text{кНм}.$$

$$W_{\text{необх.}} = \frac{554340 \text{кНсм}}{1 \cdot 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}} = 23098 \text{см}^3.$$

Оптимальну висоту головної балки, яка забезпечує мінімальну витрату сталі, варто визначати за формулами (приймаючи $k = 1,125$):

$$h = \left(\frac{1}{8} \dots \frac{1}{12} \right) \cdot L_{ГБ} = \frac{L_{ГБ}}{10} = \frac{15 \text{м}}{10} = 1,5 \text{м};$$

$$t_w = (3 \div 7) \cdot h;$$

$$t_w^{\min} = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{мм}, \quad t_w^{\max} = 7 \cdot 1,5 = 10,5 \text{мм}.$$

Для подальшого розрахунку приймаємо значення $t_w = 10 \text{мм}$.

Визначається оптимальна висота головної балки:

$$h_{\text{ОПТ}} = k \cdot \sqrt{\frac{W_{\text{необх.}}}{t_w}} = 1,125 \cdot \sqrt{\frac{23098 \text{см}^3}{1 \text{см}}} = 170,97 \text{см},$$

Попередньо приймаємо $h_{\text{ОПТ}} = 171 \text{см}$.

Мінімальну висоту балки, що забезпечує жорсткість балки, визначаємо за формулою:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y \cdot l}{E} \cdot \frac{1}{\left[\frac{f}{l} \right]} \cdot \frac{q_n}{q} = \frac{5}{24} \cdot \frac{24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 150 \text{см}}{20600 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}} \cdot \frac{1}{\left[\frac{1}{400} \right]} \cdot \frac{166,49 \frac{\text{кН}}{\text{м}}}{197,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}}} = 123 \text{см}.$$

Висота балки також перевіряється та приймається до подальшого розрахунку внаслідок виконання наступних умов:

$$\begin{cases} h > h_{\min}, \\ h \approx h_{\text{ОПТ}}. \end{cases}$$

Остаточно призначаємо висоту головної балки $h = 160 \text{см}$.

6. Визначення товщини стінки балки.

Товщина стінки балки визначається з умови міцності на зріз в опорному перерізі:

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = 197,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot \frac{15 \text{м}}{2} = 1478,3 \text{кН};$$

$$h_w = h - 5\text{см} = 160\text{см} - 5\text{см} = 155\text{см};$$

$$R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 13,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

$$t_w^{\min} = \frac{1,5 \cdot Q}{h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{1,5 \cdot 1478,3\text{кН}}{155\text{см} \cdot 13,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 1} = 1,03\text{см};$$

$$t_w = \frac{h_w}{6} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{155\text{см}}{6} \cdot \sqrt{\frac{24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{20600 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}} = 0,882\text{см}.$$

За умовою корозійної стійкості сталі:

$$t_w \geq 0,8\text{см}.$$

Якщо умови не виконуються, необхідно відкоригувати значення t_w і h_w .

Приймаємо остаточно висоту стінки $t_w = 12\text{мм}$.

7. Визначення розмірів поясу балки.

Площа поясу складеної балки симетричного перерізу:

$$A_f = \frac{W_{\text{необх.}}}{h} - \frac{t_w \cdot h}{6} = \frac{23098\text{см}^3}{160\text{см}} - \frac{1,2\text{см} \cdot 155\text{см}}{6} = 113,36\text{см}^2.$$

Переріз поясу призначається з урахуванням вимог загальної і місцевої стійкості. Розміри поясу визначаються виходячи з приведених умов:

$$b_f = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5}\right) \cdot h = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5}\right) \cdot 160\text{см} = \frac{160\text{см}}{4} = 40\text{см}.$$

$$t_f = 2,5 \cdot t_w = 2,5 \cdot 1,2\text{см} = 3\text{см}.$$

Приймаємо, $t_f = 2,5\text{см}$.

$$\frac{b_f}{t_f} = 16 \leq \sqrt{\frac{E}{R_y}} = \sqrt{\frac{20600 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}} = 29,3;$$

$$h_{\text{с.б.}} = h_w + 2t_f = 155\text{см} + 2 \cdot 2,5\text{см} = 160\text{см}.$$

8. Вибір розрахункової схеми та визначення навантажень на колону.

Висота колони визначається за таких умов:

→ у випадку з'єднанні другорядних балок із головними в одному рівні за формулою:

$$H = h_{\text{наст.}} - h_{\text{з.б.}} + H_{\text{загл.}} = 3\text{м} - 1,6\text{м} + 0,6\text{м} = 2\text{м};$$

У випадку шарнірного закріплення розрахункова довжина колони дорівнює її висоті:

$$l_{ef} = H = 2\text{м}.$$

За умови однакової стійкості колони за обома напрямками:

$$l_{ef,x} = l_{ef,y}.$$

Загальне зусилля, яке сприймається колоною:

$$n_{\text{нов.}} = 4;$$

$$Q_{\text{кор.}} = q_{\text{кор.}} \cdot L \cdot l = 24 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 1,2 \cdot 15\text{м} \cdot 6\text{м} = 2592\text{кН};$$

$$Q_{\text{max}} = 2,94 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 15\text{м} \cdot 6\text{м} = 264,6\text{кН}.$$

Вага головної балки визначається за формулою:

$$\begin{aligned} Q_{\text{зб}} &= Q_{\text{стіжки}} + 2 \cdot Q_{\text{полиці}} = \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} + 2 \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{полиці}} = \\ &= 76,5 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3} \cdot 1,55\text{м} \cdot 0,012\text{м} \cdot 15\text{м} + 2 \cdot 76,5 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3} \cdot 0,4\text{м} \cdot 0,025\text{м} \cdot 15\text{м} = 44,29\text{кН}. \end{aligned}$$

$$N = n_{\text{нов.}} \cdot (Q_{\text{max}} + Q_{\text{зб}} + Q_{\text{кор.}}) = 4 \cdot (264,6\text{кН} + 44,29\text{кН} + 2592\text{кН}) = 11604\text{кН}.$$

Для попереднього підбору поперечного перерізу колони задаємо $\varphi_1 = 0,7$.

Необхідна площа перерізу визначається за наступною формулою:

$$A_{\text{необх}} = \frac{N}{\varphi_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{11604\text{кН}}{0,7 \cdot 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 1} = 721\text{см}^2.$$


Із сортаменту колонних двотаврів слід підібрати двотавр із площею перерізу, більшою чи такою, що дорівнює $A_{\text{необх}}$.

Приймається переріз колони із двох двотаврів №40К1, із загальною площею:

$$A_{\text{кол}} = 2 \cdot 371\text{см}^2 = 742\text{см}^2.$$

Переходимо до етапу моделювання розрахункової схеми балкової клітини.

Хід проведення моделювання:

1. Створюємо нову задачу та обираємо 5 ознаку схеми, рис. В5.2. Задаємо ім'я задачі «Балкова_клітка» і натискаємо .

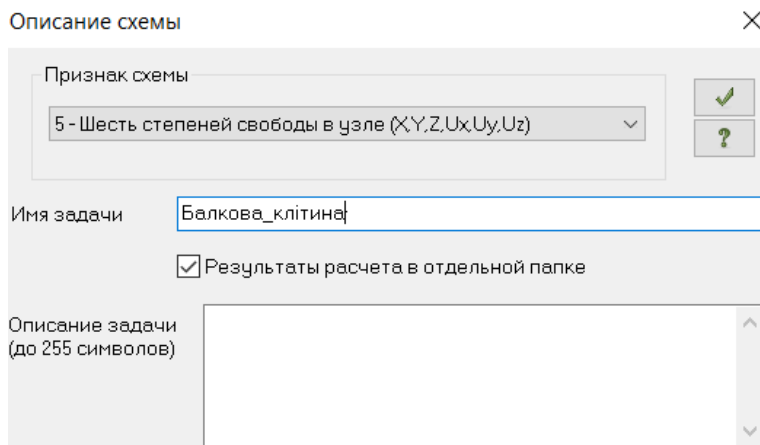


Рис. В5.2. Діалогове вікно **Опис схеми**


2. Найбільш оптимальним способом створити просторову розрахункову схему рами можна за допомогою шаблону  **Генерація просторових рам**, рис. В5.3.



Рис. В5.3. Діалогове вікно **Генерація просторових рам**

3. Вмикаємо візуалізацію в'язей, рис. В5.4. Всі нижні вузли жорстко защемлені.

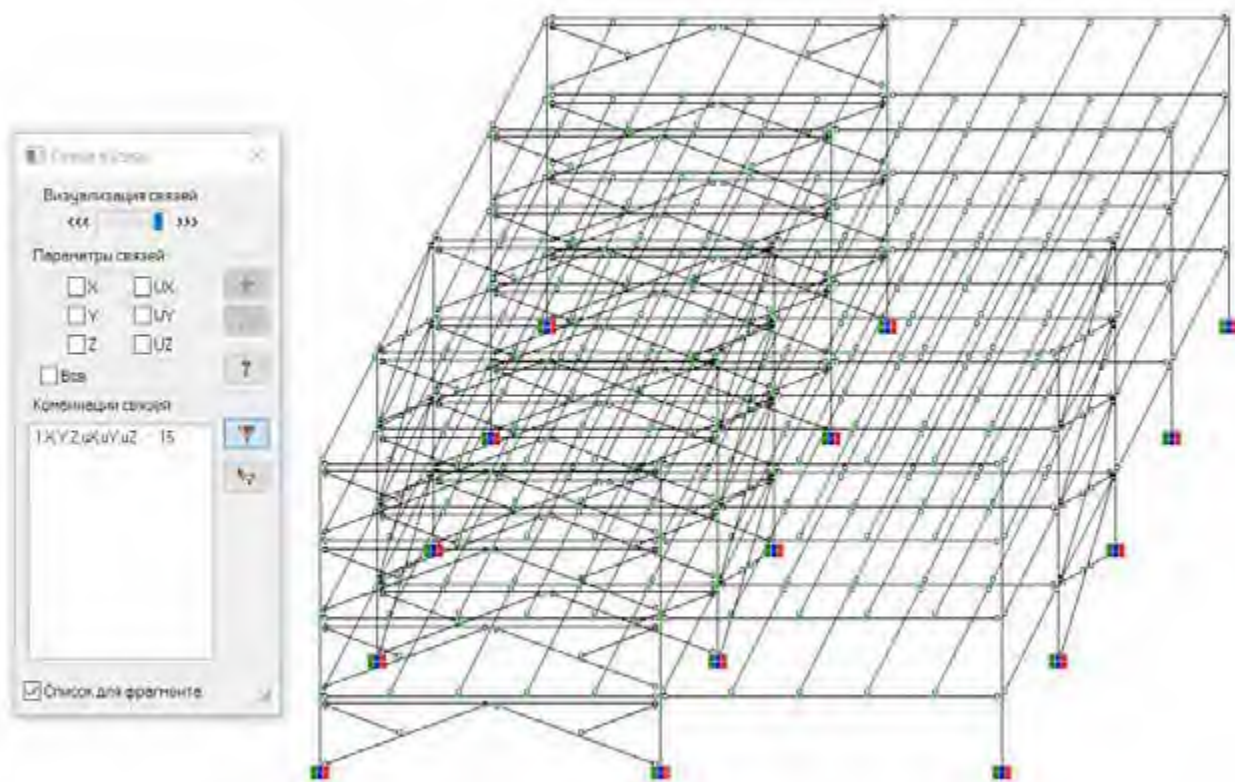


Рис. В5.4. Просторова розрахункова схема балкової клітки

4. Відкриваємо вкладку  **Жорсткості**. Для другорядних балок обираємо **Двотавр**, рис. В5.5.

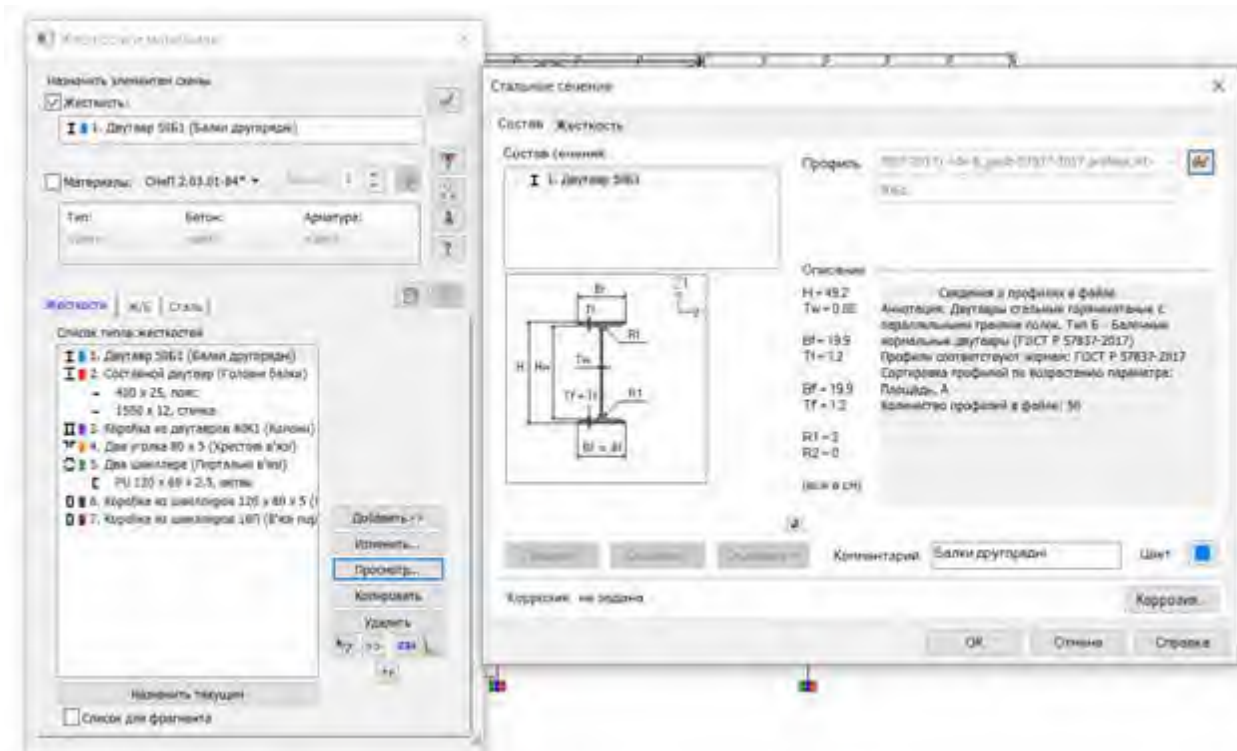


Рис. В5.5. Задавання жорсткості для другорядних балок

Щодо призначення жорсткості головних балок, – приймається зварний сталевий двотавр, рис. В5.6.

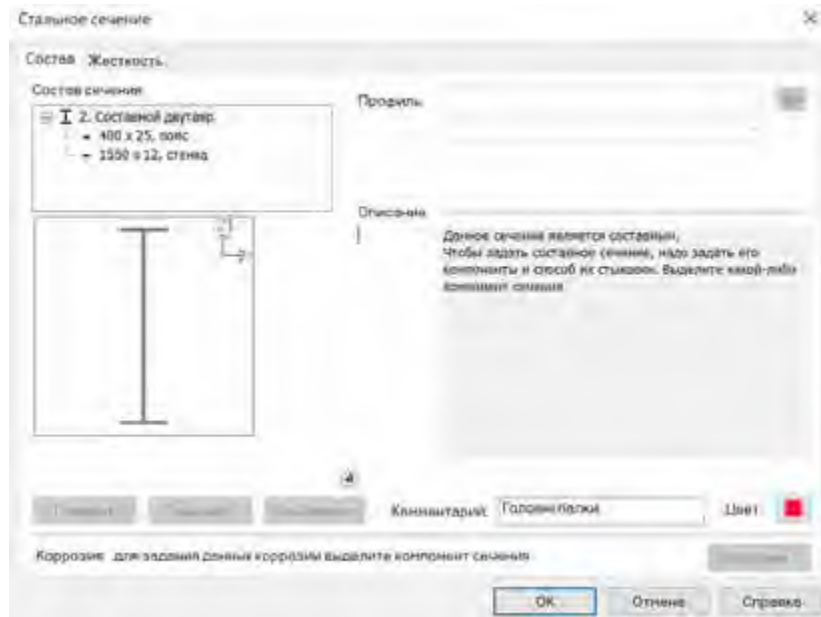


Рис. В5.6. Задання жорсткості для головних балок

Щодо призначення жорсткості сталевих колон, – приймається зварна коробка із двотаврів, рис. В5.7.



Рис. В5.7. Призначення жорсткості сталевих колон

Хрестоподібні в'язи сприймають горизонтальні та інші види навантажень, збільшують просторову жорсткість каркасу. Для хрестоподібних в'язей обираємо переріз із двох кутиків, рис. В5.8.

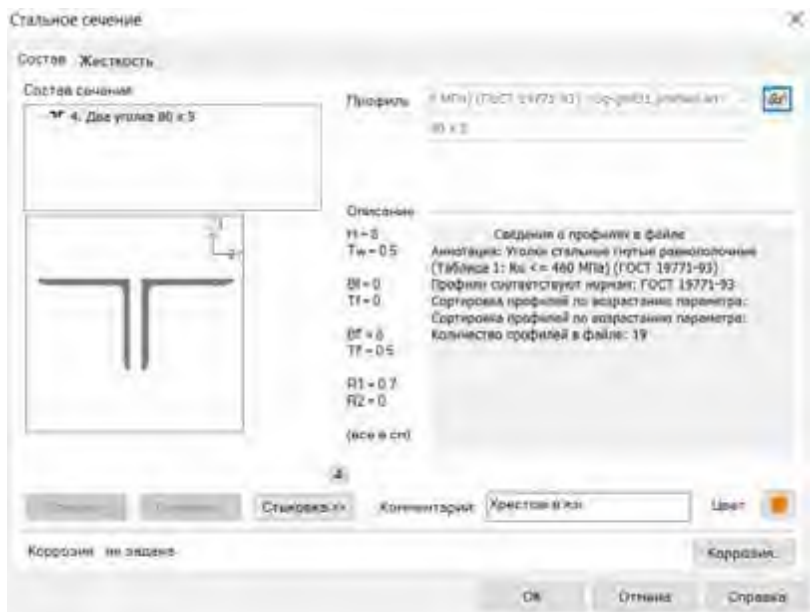


Рис. В5.8. Призначення жорсткості хрестоподібних в'язей

Портальні в'язей вибираються з двох швелерів, рис. В5.9.

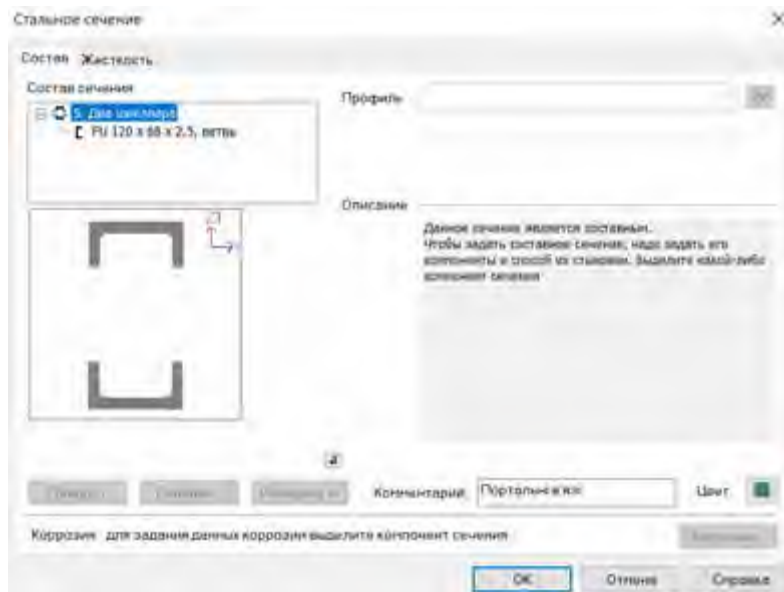



Рис. В5.9. Призначення жорсткості для портальних в'язей

- Наступним етапом є створення шарнірів. Обираємо другорядні балки, переходимо на вкладку роботу із стержнями і обираємо команду  **Шарніри**. У кожному стержневому скінченному елементі є два вузли – початковий і кінцевий, рис. В5.10.

Шарнір дозволяє лінійний або кутовий поворот у вузлі елемента, який суттєво впливає на переміщення та зусилля, що виникають в елементі.

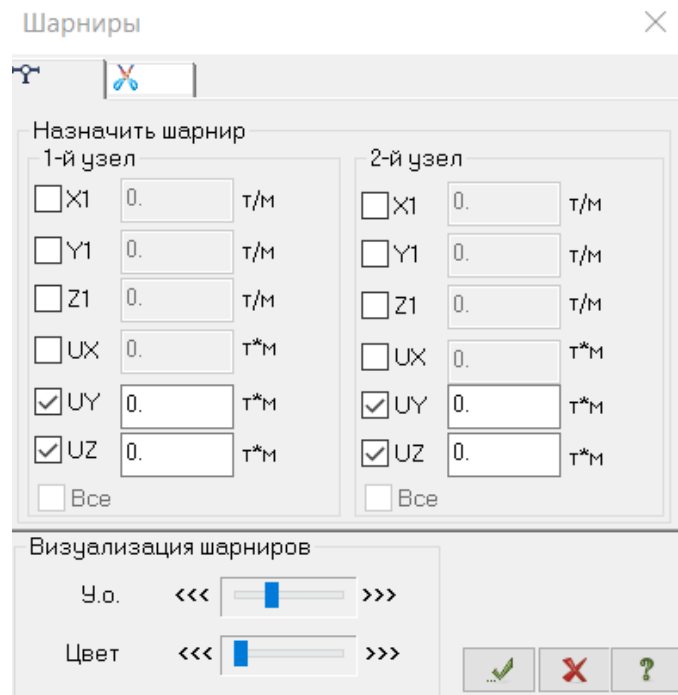


Рис. В5.10. Діалогове вікно команди **Шарніри**

Хрестоподібні та порталні в'язі також з'єднані з елементами каркасу шарнірно. При цьому хрестоподібні в'язі розрізаються шарнірно лише в одному напрямку, тобто один елемент жорсткий за всією довжиною, а інший буде розрізаний шарнірами, рис. В5.11.

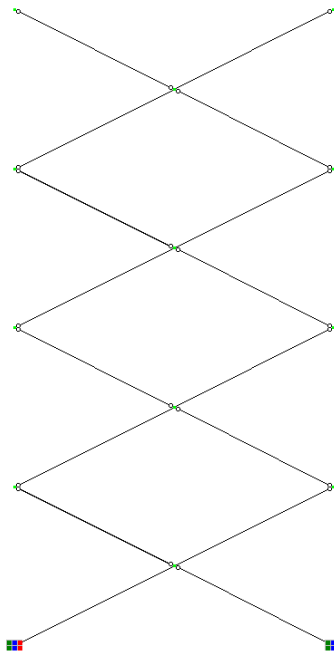


Рис. В5.11. Призначення шарнірів для хрестових в'язей

6. Згідно завдання наявні два види навантаження: постійне та корисне (тимчасове тривале), рис. В5.12.

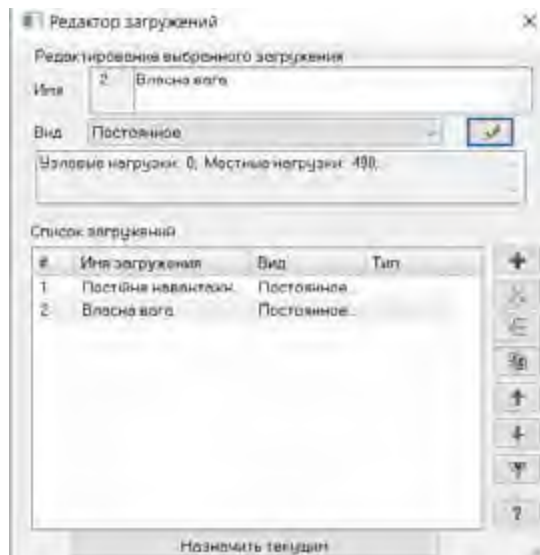



Рис. В5.12. Редактор навантажень

Навантаження від власної ваги задається за допомогою команди  **Додати власну вагу**, рис. В5.13.

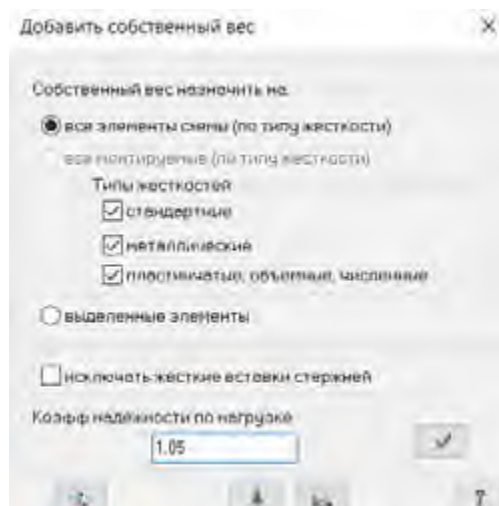



Рис. В5.13. Діалогове вікно команди **Додати власну вагу**

Вітрове навантаження у цій задачі не розглядається.

Сталевий настил між другорядними балками не моделюється. Навантаження від нього враховується і передається на другорядні балки як рівномірно розподілені.

Корисне навантаження задано за завданням, але значення між внутрішніми і крайніми другорядними балками буде різним. Для внутрішніх балок це значення буде дорівнювати 72 кН/м^2 , а для крайніх – удвічі меншим. Задаємо навантаження за допомогою команди  **Нагрузка на стержни**, рис. В5.14.

Навантаження від сталевго настилу для внутршніх другорядних балок задається $2,36 \text{ кН/м}$, для крайніх – $1,18 \text{ кН/м}$.

7. Розрахункові сполучення зусиль РСЗ задаємо за допомогою команди

Варіанти конструювання схеми . Створюється РСЗ для кожного навантаження окремо, рис. В5.14 та рис. В5.15.

Для першого постійного, рис. В5.14:

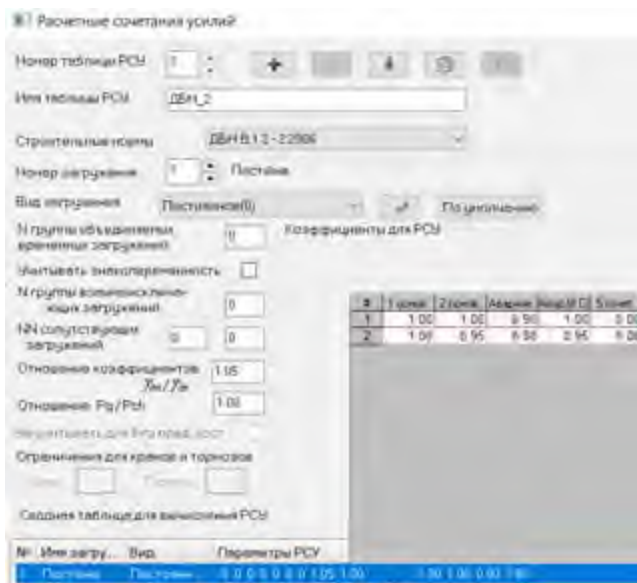


Рис. В5.14. Таблица РСЗ для постоянного навантаження

Для другого тривалого, рис. В5.15:

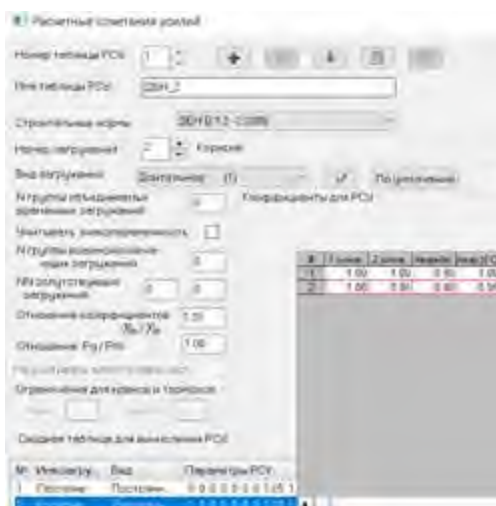



Рис. В5.15. Таблица РСЗ для тривалого навантаження

Після створення таблиці розрахункових сполучень зусиль, таблиця розрахункових сполучених навантажень підлаштовується автоматично.

8. Задавання конструктивних елементів другорядної балки обирається за допомогою зварного двотавру через фрагментацію. Далі назначаємо елемент , рис. В5.16.

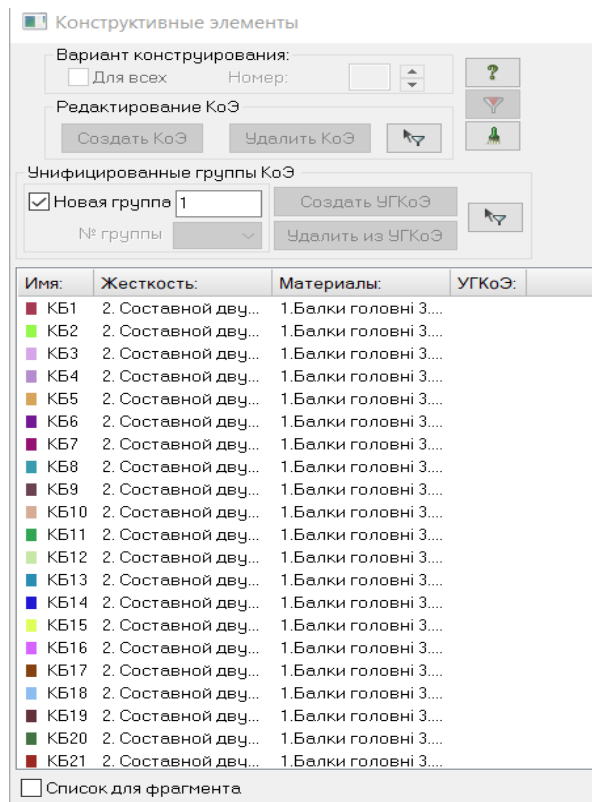



Рис. В5.16. Конструктивні елементи

9. У наведеній задачі розраховуються не тільки зусилля та переміщення, а також мають бути підібрані відповідні перерізи елементів. Тому через команду **Жорсткості і матеріали елементів**  задаємо **Матеріал**. Додаткові характеристики задаються також для кожного типу конструкцій – рис. В5.17–В5.20.

Параметры	
Номер	1
Комментарий	Балки головні
Сечение	
Сталь	как у пояса
Пояс	
Таблица сталей	Сталь, лист (ДБН В...
Сталь	C255
Сокращенный сортамент	Нет
Стенка	
Таблица сталей	Сталь, лист (ДБН В...
Сталь	C245
Сокращенный сортамент	Нет

Рис. В5.17. Матеріал для головних балок

Параметры	
Номер	2
Комментарий	Балки другорядні
Сечение	
Таблица сталей	Сталь, лист (ДБН В...
Сталь	C245
Сокращенный сортамент	Нет


Рис. В5.18. Призначення матеріалу для другорядних балок



Параметры	
Номер	3
Комментарий	Колони,в'язі
Сечение	
Таблица сталей	Сталь, лист (ДБН В...
Сталь	C235
Сокращенный сортамент	Нет

Рис. В5.19. Призначення матеріалу для колон та в'язей

Параметры	
Номер	4
Комментарий	Портальні в'язі
Сечение	
Сталь	как у ветви
Тип решетки	Раскосная
Ветвь	
Таблица сталей	Сталь, лист (ДБН В...
Сталь	C235
Сокращенный сортамент	Нет
Раскос соединительной решетки	
Тип профиля	Равнополочный уг...
Сортамент	Уголок равнополо...
Профиль	50 x 50 x 5
Таблица сталей	Сталь, фасон (ДБН ...
Сталь	C235
Сокращенный сортамент	Нет

Рис. В5.20. Призначення матеріалу для портальних в'язей

10. Натискаємо  **Виконати розрахунок** та проводимо аналіз отриманих результатів.

Переходимо на вкладку . Вмикаємо одночасне відображення вихідної і деформованої схем через команду .

Проводимо якісний аналіз, тобто перевіряємо чи прогини є «адекватними», чи всі елементи деформувалися та працюють сумісно. Отримана за розрахунком схема деформації є прийнятною, рис. В5.21.

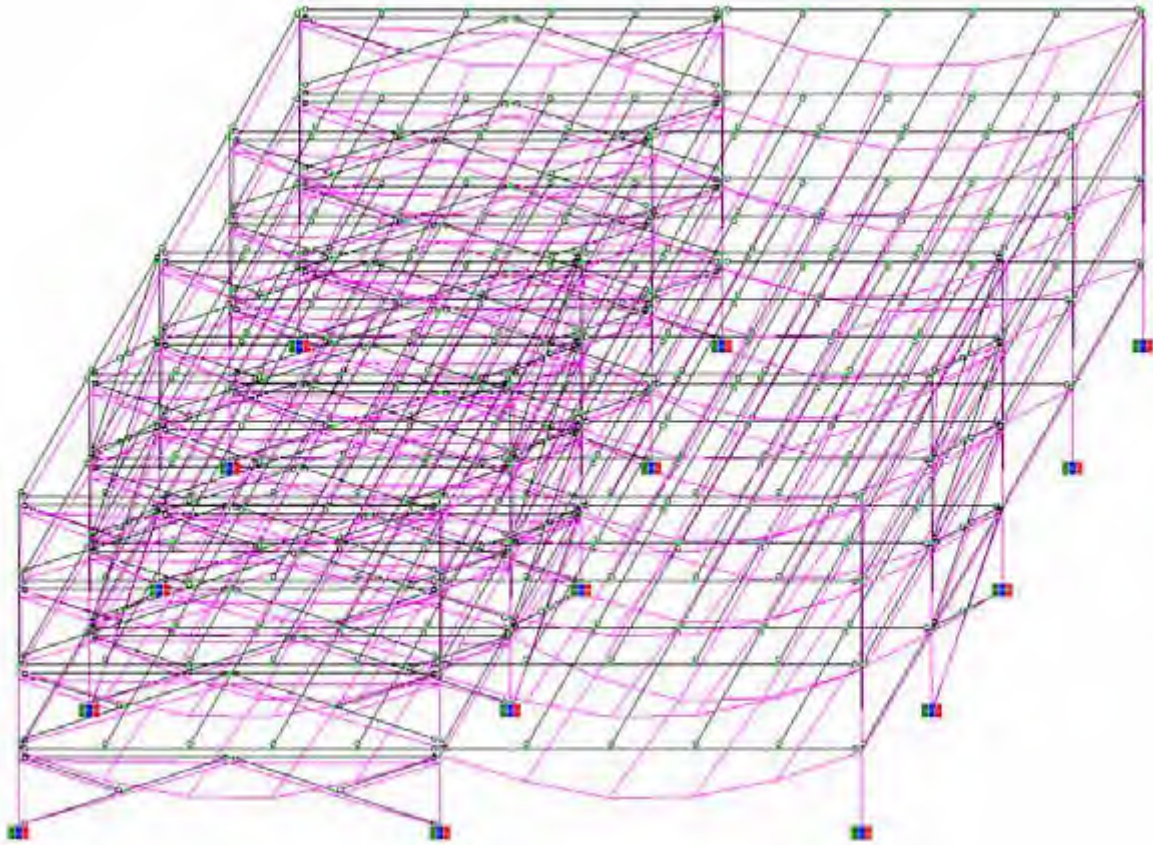


Рис. В5.21. Деформована схема балкової клітини

Для того, щоб вивести на екран переміщення за напрямком осі Z , натискаємо на команду **Z** Мозаїка переміщень по $Z(G)$, рис. В5.22.

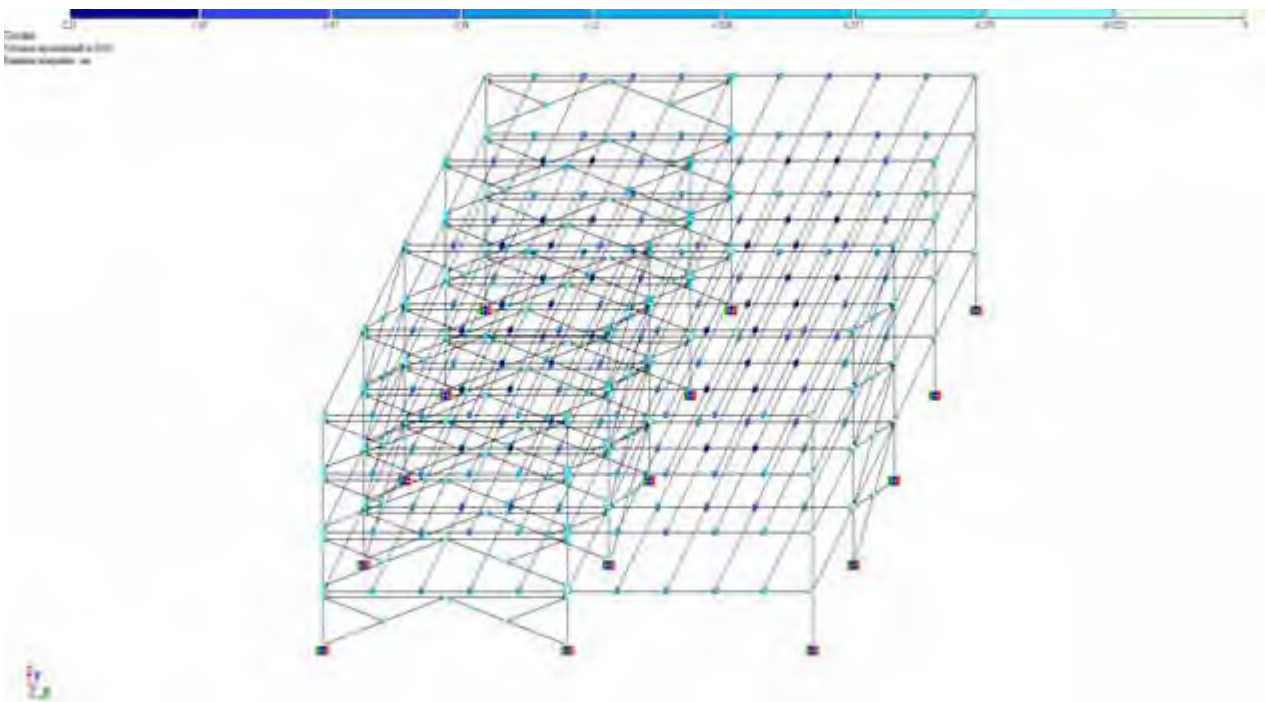


Рис. В5.22. Мозаїка переміщень за напрямком вісі Z

Мозаїку переміщень за U_y та X аналізуємо завдяки командам U_y та X ,
рис. В5.23 та рис. В5.24.

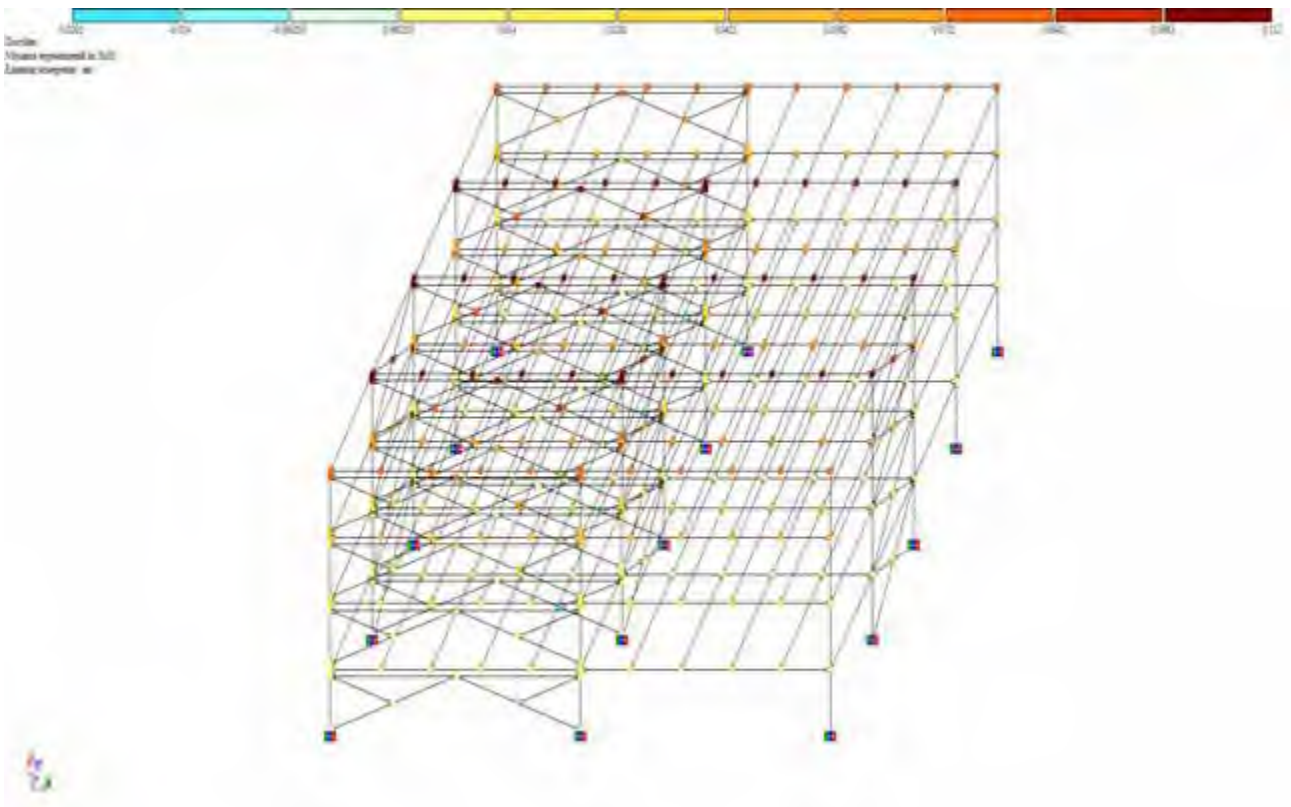


Рис. В5.23. Мозаїка переміщень за напрямком вісі X

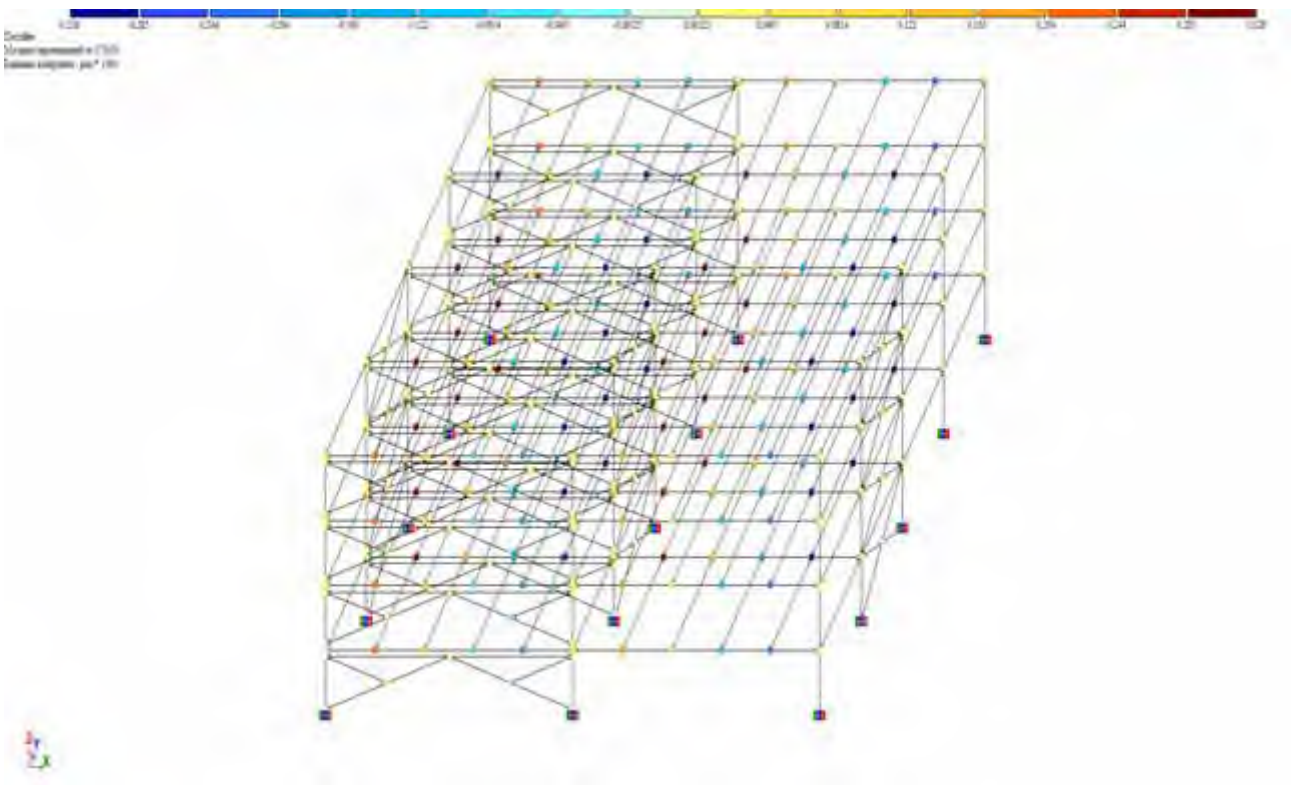


Рис. В5.24. Мозаїка переміщень U_y навколо вісі OY

Після аналізу переміщень переходимо до панелі **Усилия в стержнях**. Відображення епюри поперечних сил (tn) вмикаємо через команду Q_z . Для кращого відображення епюр через команду **Параметри відображення** потрібно вмикнути **Штриховка на епюрах**. Інформацію щодо аналізу окремих елементів можна дізнатись через команду **Інформація про вузол або елемент**, рис. В5.25.

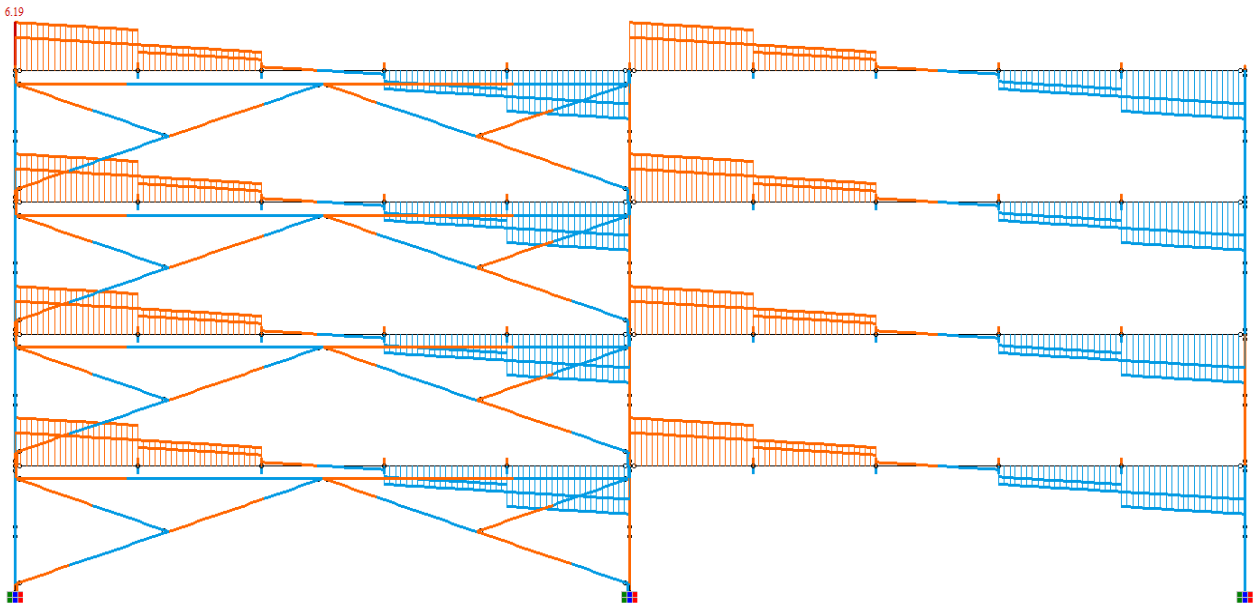


Рис. В5.25. Епюра поперечних сил Q_z

Переходимо до відображення епюри згинальних моментів, використовуюючи команду M_y , рис. В5.26.

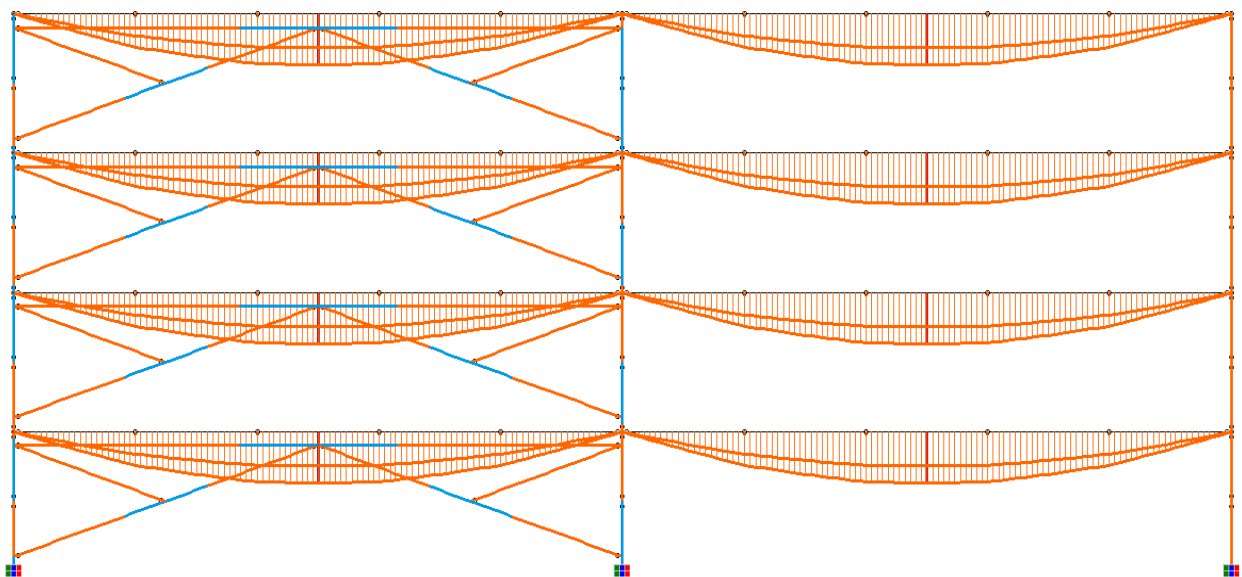


Рис. В5.26. Епюра згинальних моментів M_y

Епюра повздовжніх сил відображається завдяки команді \bar{N} , рис. В5.27.

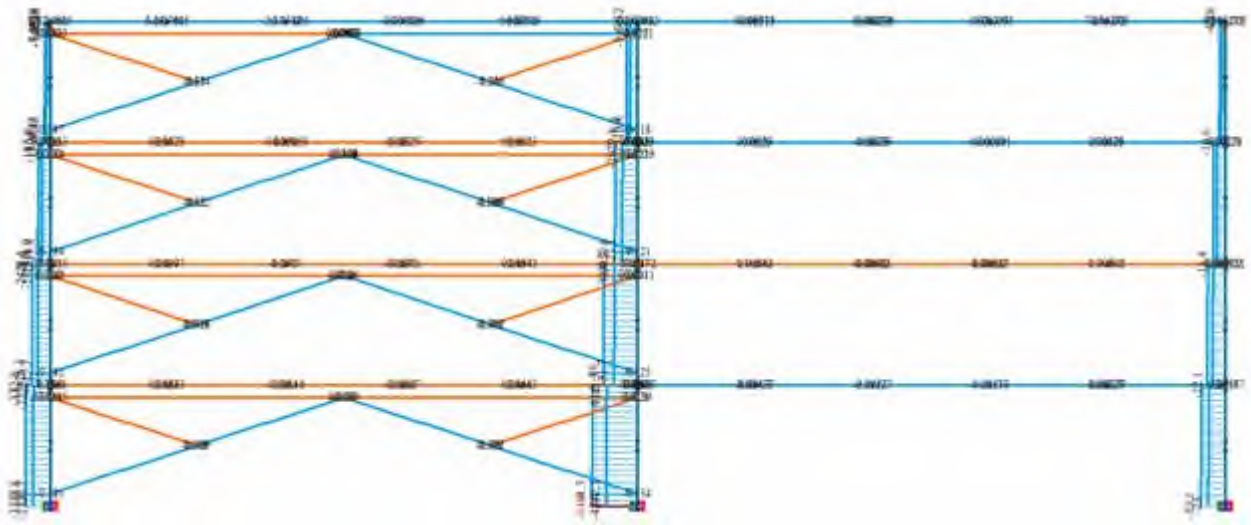


Рис. В5.27. Епюра повздовжніх зусиль N

Висновок: У наведеній лабораторній роботі №5 проведений чисельний розрахунок і конструювання елементів сталеві балкової клітки. Аналітично підібрані перерізи усіх несучих сталевих елементів балкової клітини, які потім були змодельовані у ПК «ЛІРА-САПР».

Розрахункова схема виконана за ознакою схеми 5 (шість ступенів вільності у вузлі (переміщення вздовж осей OX , OY , OZ – X , Y , Z ; та переміщення (кути повороту) навколо осей OX , OY , OZ – U_x , U_y , U_z). Побудовані епюри внутрішніх зусиль у ПК «ЛІРА-САПР»: згинальних моментів – M_y , M_z ; поперечних сил – Q_z , Q_y , повздовжніх сил N та M_k . Попередньо підібрані елементи були перевірені на міцність та деформативність шляхом виконання аналітичного конструктивного розрахунку.

Список літератури

1. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2–2:2006. – [Чинні від 2007-01-01]. – К. : Мінбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2006. – 75 с. – (Державні будівельні норми)
2. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд : ДБН В.1.2-14:2018 – [Чинні від 2019-01-01]. – К.: Мінрегіон України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2018. – 36 с. – (Державні будівельні норми)
3. Сталеві конструкції. Норми проектування : ДБН В.2.6-198:2014 – [Чинні від 2015-01-01]. – К.: Мінрегіон України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2014. – 205 с. – (Державні будівельні норми)
4. Барабаш М.С. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посіб. / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язев, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. – К. : НАУ, 2019. – 500 с.
5. Барабаш М.С. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій: навч. посіб. / М.С. Барабаш, С.В. Козлов, Д.В. Медведенко. – К. : НАУ, 2012. – 572 с.
6. Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2. Практичний посібник / В.Г. Поклонський, О.А. Фесенко, В.Г. Тарасюк та ін. – К.: Інтертехнологія, 2016. – 83 с.
7. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е, Ромашкина М.А.; под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. // Электронное издание, 2017 г., – 535 с.
8. Справочное пособие по строительной механике : учебное пособие / [Верюжский Ю.В., Голышев А. Б., Колчунов В.И. и др.]. – М. : АСВ, 2014. – Т.1. – 640 с.
9. Справочное пособие по строительной механике : учебное пособие / [Верюжский Ю.В., Голышев А. Б., Колчунов В.И. и др.]. – М. : АСВ, 2014. – Т.II. – 432 с.
10. Скребнева С. М. Чисельні методи в розрахунках будівельних

конструкцій : лабораторний практикум / С. М. Скребнева, І. Л. Машков, І. А. Яковенко. – К. : НАУ, 2015. – 52 с.

11. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.

12. Ключева Н. В. Методика расчета деформативности стержневых железобетонных составных конструкций с использованием программного комплекса «Мираж-2014» / Н. В. Ключева, И. С. Горностаев, Вл. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №10. – С. 21–26.

13. Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. (2016) About the violation solid effect of reinforced concrete in reconstruction design of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennost'is, 2016, 363 2016-January(3), pp. 258–263.

14. Бакулін Є.А. Інженерний захист та підготовка територій : навч. посіб.; за ред. канд. техн. наук Бакуліна Є.А. / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, В.М. Бакуліна. – К. : НУБіП України, 2020. – 212 с.

15. Dmytrenko E.A., Yakovenko I.A., Fesenko O.A. (2021). Strength of excentrically tensioned reinforced concrete structures with small eccentricities by normal sections // Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2021), 30 (3), 424–438.

16. Дмитренко Є.А. Чисельне моделювання моменту утворення тріщин у залізобетонних конструкціях із застосуванням ПК «САПФІР» / Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2021. – Вип. 39. – С. 74–83.

17. Бакулін Є.А. Наслідки руйнування та надання комплексної оцінки можливості подальшої експлуатації будівлі корівника у смт. Немішаєво / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко // Збірник тез доповідей XXI Міжнародної онлайн-конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та

аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування конструювання та дизайн» (25–26 березня 2021 р.), – К. : НУБіП України, 2021. – С. 67–69.

18. Дмитренко Є.А. Особливості чисельного моделювання моменту утворення тріщин залізобетонних конструкцій у ПК «Сапфір» / Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної онлайн конференції «Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України», присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України (23-24 вересня 2021 р.). – К.: НУБіП України, 2021. – С. 58–61.

19. Бакулін Є.А. Результати аналізу причин руйнування сталевих ферм покриття конверторного цеху / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, Є.А. Дмитренко, В.М. Бакуліна // Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (17–19 листопада, 2021 р., м. Харків). – Харків, УкрДУЗТ, 2021. – С. 87–88.

20. Колчунов В. И. Расчет жесткости плосконапряженных стен с привлечением ПК «Лира-Про» по методике новых норм / В. И. Колчунов, Т. В. Тугай, И. А. Яковенко, Н. Г. Марьенков, // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 53. – С. 209– 221.

21. Яковенко И. А. Создание информационной модели при проектировании зданий и сооружений / И. А. Яковенко, А. С. Калиниченко // Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК–2012) : зб. тез 5-ої міжн. наук.-практ. конф. 15–16 травня 2012р. – К. : НАУ, 2012. – С. 49–51.

22. Яковенко И. А. Проектирование зданий и сооружений с использованием BIM системы Allplan / И. А. Яковенко, А. С. Калиниченко // Мат. III міжн. наук.-практ. конф. "Аеропорти – вікно в майбутнє" 15–16 червня 2012р. / Проектування та будівництво об'єктів аеропортів : зб. тез. – К. : НАУ, 2012. – С. 14–16.

Зміст

Загальні вказівки	3
Лабораторна робота № 1. Розрахунок статично визначеної балки	4
Лабораторна робота № 2. Розрахунок плоскої рами	6
Лабораторна робота № 3. Розрахунок статично визначеної ферми покриття ...	9
Лабораторна робота № 4. Розрахунок статично визначеної арки покриття	14
Лабораторна робота № 5. Розрахунок і конструювання сталевих елементів балкової клітки	21
Додаток А. Сортаменти фасонного прокату	34
Додаток Б. Характеристичні і розрахункові опори різних видів прокату	37
Додаток В. Приклади розрахунку конструкцій у ПК «ЛІРА-САПР»	40
В.1. Приклад розрахунку статично визначеної балки	40
В.2. Приклад розрахунку плоскої рами	47
В.3. Приклад розрахунку статично визначеної ферми покриття	54
В.4. Приклад розрахунку статично визначеної арки покриття	61
В.5. Приклад розрахунку і конструювання елементів балкової клітки	69
Список літератури	88