



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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра будівельної механіки

**Методичні вказівки
до лабораторних робіт з курсу
«Програмне забезпечення інженерних розрахунків»**

**для студентів спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання**

**Тернопіль
2022**

УДК 69.04(07)
М54

Укладач:
к.т.н., доц. Сорочак А.П.

Рецензент:
к.т.н., доц. Окіпний І.Б.

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри будівельної механіки.
Протокол № 2 від «3» жовтня 2022 р.

Методичні вказівки рекомендовано до друку методичною радою факультету
інженерії машин, споруд та технологій.
Протокол № 3 від «21» жовтня 2022 р.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Програмне
М54 забезпечення інженерних розрахунків»/укладач: Сорочак А.П.–
Тернопіль: Вид-то ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022.–56 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до освітньої програми першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та
цивільна інженерія».

Розглядаються приклади моделювання лінійних, нелінійних і суперелементних
задач. Наведено алгоритми розрахунку та конструювання елементів
залізобетонних і металевих конструкцій у середовищі програмного комплексу
ЛІРА-САПР 2015.

УДК 69.04(07)

© Сорочак А.П.,.....2022
© Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя,.....2022

Зміст

Передмова	4
Лабораторна робота № 1. Статичний розрахунок балки.....	5
Лабораторна робота № 2. Статичний розрахунок плоскої рами. Розрахункові сполучення зусиль	7
Лабораторна робота № 3. Дослідження напружено-деформованого стану балки-стілки.....	11
Лабораторна робота № 4. Розрахунок циліндричного резервуару	13
Лабораторна робота № 5. Розрахунок плоскої комбінованої системи з використанням суперелементів.....	16
Лабораторна робота № 6. Розрахунок армування залізобетонних елементів.....	19
Лабораторна робота № 7. Розрахунок і конструювання плит	21
Лабораторна робота № 8. Розрахунок та проектування металевих конструкцій	24
Лабораторна робота № 9. Розрахунок та конструювання ферм.....	27
Лабораторна робота № 10. Розрахунок просторової комбінованої системи	30
Лабораторна робота № 11. Розрахунок рами на динамічні впливи	33
Лабораторна робота № 12. Розрахунок та конструювання металевої вежі	35
Лабораторна робота № 13. Нелінійний розрахунок двопролітної балки з урахуванням повзучості бетону	39
Лабораторна робота № 14. Розрахунок залізобетонної рами у фізично нелінійній постановці.....	42
Лабораторна робота № 15. Розрахунок вантової ферми	44
Лабораторна робота № 16. Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, що працюють спільно з основою	46
Лабораторна робота № 17. Розрахунок конструкцій на ґрунтовій основі з використанням системи ГРУНТ.....	48
Лабораторна робота № 18. Розрахунок рами промислової будівлі	52
Рекомендована література	55

Передмова

Використання передових інформаційних технологій є запорукою успішного проведення розрахунків на стадії проектування нових, а також при перевірці несучої здатності існуючих будівель і споруд. На теперішній час існує велика кількість систем автоматизованого проектування (САПР) будівельних об'єктів, що призначені для розгляду окремих частин проекту: архітектурної (ArchiCAD, Revit), конструктивної (SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ), електротехнічної (ЕПОС), графічної (AutoCAD, КОМПАС) та ін. Одержані з їхньою допомогою результати дозволяють значно підвищити якість і швидкість вирішення відповідних інженерних задач.

Прийняття технічно обґрунтованих і підкріплених відповідними розрахунками конструктивних рішень є найважливішим етапом проектування. Тому суттєвого значення набуває опанування студентами сучасних засобів САПР для проведення конструювання і розрахунків на міцність, стійкість і жорсткість елементів будівельних конструкцій. Для цього студентам напряму підготовки «Будівництво та цивільна інженерія» у рамках навчальної дисципліни «Програмне забезпечення інженерних розрахунків» викладаються основи практичної роботи з проектно-обчислювальним комплексом ЛІРА-САПР.

Методичні вказівки спрямовані надати допомогу студентам у виконанні лабораторних робіт з цього курсу і включають приклади вирішення за допомогою ПК ЛІРА-САПР характерних задач, містять відомості про структуру комплексу, особливості проектування в середовищі ПК ЛІРА-САПР металевих та залізобетонних конструкцій, виконання динамічних та нелінійних розрахунків.

Лабораторна робота № 1. Статичний розрахунок балки

Мета роботи: ознайомитися з інтерфейсом ПК ЛІРА-САПР, засвоїти порядок виконання основних етапів побудови розрахункової моделі; провести статичний розрахунок простої балки та аналіз отриманих результатів.

1. Завдання.

Ознайомитися з призначенням основних кнопок на панелі інструментів графічного інтерфейсу ПК ЛІРА-САПР.

Виконати розрахунок балки на статичні навантаження згідно варіанту. Вивести деформовану схему, епюри згинальних моментів та поперечних сил. Проаналізувати отримані результати.

Розв'язати задачу методами опору матеріалів та порівняти результати.

2. Порядок виконання завдання.

1. Запуск системи ЛІРА-САПР.

Виконайте команду Windows *Пуск=>Програми=>LIRA SAPR=>ЛІРА-САПР 2015=>ЛІРА-САПР 2015.*

2. Створення нової задачі.

Таблиця 1.1 – Дані для розрахунку

Варіант	Схема	Профіль	l , м	a_1 , м	a_2 , м	F , кН	M , кН·м	q , кН/м
1		І 30Б1	5	2	1,5	5	-	1
2		Г 24П	7,5	4	5	8	-	2
3		Т 30БТ1	10	6	3	9	-	3
4		Т 25ШТ3	5	2	1,5	5	-	3
5		І 35Ш2	7,5	4	3	7	-	2
6		Г 40	10	5	4	8	-	1
7		Г 30П	5	2,5	2	10	-	3
8		Т 35БТ2	7	3	1,5	8	-	4
9		І 40Ш1	7	5	1	9	-	5
10		Т 30ШТ2	5	2,5	2	-	15	3
11		Г 30	7	3	1,5	-	10	4
12		І 26Б1	7	5	1	-	8	5
13		Т 40БТ2	5	2,5	2	-	6	3
14		Г 30У	7	3	1,5	-	10	2
15		І 30Ш1	7	5	1	-	15	4

На головній панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР1» і ознаку схеми «2».

3. Створення геометричної схеми балки.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей*. На вкладці **Генерація рами** задайте крок скінченних елементів (СЕ) – 0,5 м та потрібну кількість кроків вздовж горизонтальної осі. Натисніть кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

4. Збереження даних.

Збережіть задачу, натиснувши кнопку  *Зберегти* на головній панелі інструментів. У діалоговому вікні **Зберегти як** задайте ім'я файлу та папку, в якій буде збережено цей файл.

5. Задання граничних умов.

Виведіть на екран номери вузлів розрахункової схеми. Для цього на панелі інструментів внизу екрану натисніть кнопку  *Параметри відображення*, у діалоговому вікні перейдіть на вкладку **Вузли**, встановіть прапорець  *Номери вузлів* і натисніть кнопку  *Перемалювати*.

Для виділення окремих вузлів натисніть на панелі інструментів кнопку  *Відмітка вузлів*. Виділені вузли відобразяться червоним кольором. Щоб зняти виділення елементів, натисніть кнопку  *Скасування вибору*. По черзі виділяючи крайні вузли балки, натисніть на стрічці *Створення та редагування* кнопку  *В'язі*. У діалоговому вікні **В'язі у вузлах** відзначте прапорцями напрямки, за якими забороняються переміщення вузлів (X, Z – для шарнірно нерухомих, Z – для шарнірно рухомих опор) і натисніть  *Застосувати*.

6. Задання жорсткісних параметрів елементів схеми.

За допомогою кнопки  *Відмітка елементів* на панелі інструментів виділіть елементи балки, вони зафарбуються у червоний колір. На стрічці *Створення та редагування* натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку *Додати*>>, оберіть вкладку **База металевих перерізів** і задайте профіль відповідно до свого варіанту. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть на кнопку  *Застосувати*. З елементів знімається виділення – це означає, що їм присвоєно вибраний тип жорсткості. Для перевірки цього натисніть кнопку  *Параметри відображення*, у діалоговому вікні на вкладці **Елементи** встановіть прапорець  *Типи жорсткостей* і натисніть кнопку  *Перемалювати*.

7. Задання навантажень.

Для задання навантажень виберіть необхідні елементи схеми і натисніть на стрічці кнопку  *Навантаження*. У діалоговому вікні **Задання навантажень** перейдіть на потрібну вкладку (**Навантаження у вузлах** чи **Навантаження на стержні**). Виберіть задання навантажень в глобальній системі координат, напрям

дії навантаження та його тип (зосереджена сила, момент чи розподілене навантаження). Напрями глобальних осей координат показані в лівому нижньому куті схеми. Введіть числове значення для вибраного типу навантаження згідно заданого варіанту. Для підтвердження правильного вибору параметрів натисніть кнопку  *Застосувати*. Змінити значення навантажень можна на вкладці **Корегування навантажень** діалогового вікна **Задання навантажень**. Щоб видалити навантаження на певний елемент схеми, виділіть його і натисніть кнопку  *Видалення навантажень* на стрічці.

8. Виконання розрахунку задачі.

Для запуску розрахунку задачі на стрічці *Розрахунок* натисніть на кнопку  *Виконати розрахунок*. Розрахунковий процесор ПК ЛІРА-САПР виконає перевірку схеми на наявність помилок та виведе протокол розрахунку.

9. Візуалізація результатів розрахунку.

Для переходу в режим візуалізації результатів перейдіть на стрічку *Аналіз*. Для виводу епюр сил та моментів у балці натисніть кнопку відповідного типу епюр **Q_z**, **M_x** на стрічці.

Щоб зберегти графічне представлення результатів розрахунку натисніть кнопку  *Копія вікна* на боковій панелі *Книга звітів*.

3. Контрольні запитання.

1. Основні інструменти графічного інтерфейсу ПК ЛІРА-САПР та їх призначення.
2. Порядок створення розрахункової схеми.
3. Побудова геометрії розрахункової схеми. Глобальні та локальні системи координат.
4. Задавання параметрів жорсткості елементів схеми.
5. Задавання навантаження на елементи розрахункової схеми, види можливого навантаження.
6. Візуалізація результатів розрахунку схеми.

Лабораторна робота № 2. Статичний розрахунок плоскої рами.

Розрахункові сполучення зусиль

Мета роботи: ознайомитися з порядком формування завантажень та розрахункових сполучень зусиль (РСЗ); провести статичний розрахунок плоскої рами та аналіз одержаних результатів.

1. Завдання.

Виконати розрахунок плоскої рами на статичні навантаження згідно варіанту. Вивести деформовану схему, епюри згинальних моментів, повздовжніх та поперечних сил. Проаналізувати отримані результати.

Матеріал рами – бетон С30/35. Розрахунок виконати на три завантаження: перше завантаження – постійне рівномірно розподілене (q_1, q_2, q_3); друге – тимчасове довготривале трапецієвидне (q_4, q_5); третє – вітер зліва $P_1, P_2, P_3 = 0,75P_1, P_4 = 0,75P_2$.

2. Порядок виконання завдання.

1. Запуск системи ЛІРА-САПР.

Виконайте команду Windows *Пуск=>Програми=>LIRA SAPR=>ЛІРА-САПР 2015=>ЛІРА-САПР 2015*.

2. Створення нової задачі.

На головній панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР2» і ознаку схеми «2».

3. Створення геометричної схеми рами.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей*. На вкладці **Генерація рами** задайте крок скінченних елементів (СЕ) та кількість потрібних кроків вздовж горизонтальної та вертикальної осі. Натисніть кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

4. Задання граничних умов

Виведіть на екран номери вузлів розрахункової схеми. Для цього на панелі інструментів внизу екрану натисніть кнопку  *Параметри відображення*, у діалоговому вікні перейдіть на вкладку **Вузли**, встановіть прапорець  *Номери вузлів* і натисніть кнопку  *Перемалювати*.

Таблиця 2.1 – Дані для розрахунку

Вар.	H_1 , м	H_2 , м	L_1 , м	L_2 , м	B_c , см	H_c , см	B_{b1} , см	B_b , см	H_b , см	H_{b1} , см	q_1 , кН/м	q_2 , кН/м	q_3 , кН/м	q_4 , кН/м	q_5 , кН/м	P_1 , кН	P_2 , кН
1	6	4	4	3	40	60	40	20	60	20	20	15	30	40	20	15	10
2	6	4	4	3	40	50	30	15	55	20	20	10	25	40	30	15	8
3	6	3	4	4	40	40	35	18	50	15	20	10	20	40	15	12	8
4	6	5	4	5	45	40	40	18	65	25	15	30	20	30	15	15	12
5	6	5	4	5	45	60	45	25	55	15	15	20	30	30	20	12	10
6	5	5	5	4	45	45	55	25	65	25	15	10	20	20	40	15	10
7	5	4	5	4	45	50	50	25	60	20	15	15	20	30	40	15	8
8	5	4	5	3	40	50	50	20	60	25	30	20	15	15	30	17	2
9	5	5	5	3	40	60	40	25	60	15	30	15	10	20	30	15	12
10	5	3	5	4	40	40	50	25	65	20	25	15	20	30	15	17	15
11	4	3	6	4	30	30	60	30	60	15	25	20	15	20	15	17	10
12	4	3	6	5	30	40	60	25	70	25	20	20	10	20	25	15	10
13	4	4	6	3	30	45	50	20	60	20	15	20	15	15	30	15	12
14	4	4	6	3	35	35	45	25	65	20	15	15	20	15	25	17	12
15	4	4	6	5	35	45	60	25	65	25	15	10	15	15	20	15	10

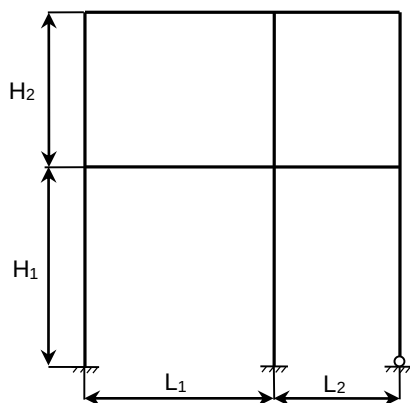
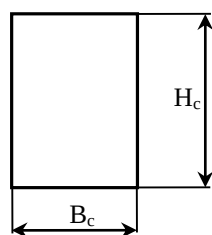
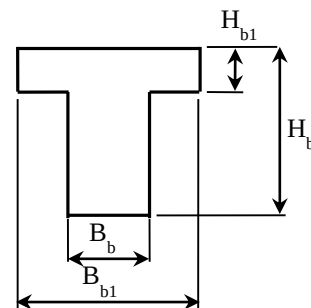


Рисунок 2.1 – Схема рами



Переріз колони



Переріз ригеля

Рисунок 2.2 – Перерізи елементів рами

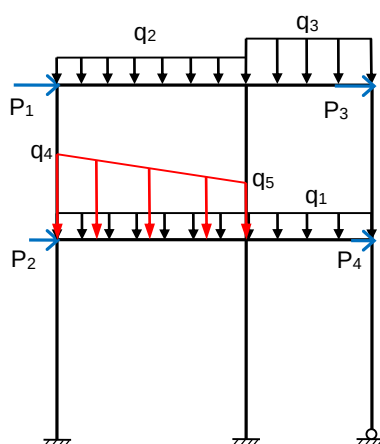


Рисунок 2.3 – Схема завантажень рами

Для виділення окремих вузлів натисніть на панелі інструментів кнопку Відмітка вузлів. Виділені вузли відобразяться червоним кольором. По черзі виділяючи вузли 1, 2, 3 схеми, натисніть на стрічці *Створення та редагування* кнопку  В'язі. У діалоговому вікні **В'язі у вузлах** відзначте прапорцями напрямки, за якими забороняються переміщення вузлів (X, Z, UY – для зацімлення, X, Z – для шарнірно нерухомих опор) і натисніть  Застосувати.

5. Задання жорсткісних параметрів елементів рами.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть на кнопку  Жорсткості. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку *Додати>>*, оберіть вкладку **Стандартні типи перерізів** і виберіть тип перерізу відповідно до свого варіанту. В діалоговому вікні **Задання стандартного перерізу** введіть параметри перерізу. Для всіх варіантів прийняти значення модуля пружності $E = 3e7$ кН/м² та питомої ваги матеріалу $R_0 = 25$ кН/м³.

У списку відзначте тип жорсткості, що відповідає колонам, і натисніть на кнопку **Призначити поточним**. Виділіть на схемі колони, вони зафарбуються у червоний колір. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть на

кнопку  *Застосувати*. З колон знімається виділення – це означає, що виділеним елементам присвоєно вибраний тип жорсткості.

У вікні списку відзначте тип жорсткості, що відповідає балкам схеми, і натисніть на кнопку **Призначити поточним**. Виділіть на схемі балки, у діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть на кнопку  *Застосувати*.

6. Задання навантажень.

Для задання навантажень виберіть елементи схеми, на які діють постійні навантаження, і натисніть на стрічці кнопку  *Навантаження*. У діалоговому вікні **Задання навантажень** перейдіть на потрібну вкладку (**Навантаження у вузлах** чи **Навантаження на стержні**). Радіо-кнопками виберіть задання навантажень в глобальній системі координат, напрям дії навантаження та його тип (зосереджена сила чи розподілене навантаження). Напрями глобальних осей координат показані в лівому нижньому куті схеми. Введіть числове значення для вибраного типу навантаження та місце його прикладання згідно заданого варіанту. Для підтвердження правильного вибору параметрів натисніть кнопку  *Застосувати*. Змінити значення навантажень можна на вкладці **Корегування навантажень** діалогового вікна **Задання навантажень**. Щоб видалити навантаження на певний елемент схеми, виділіть його і натисніть кнопку  *Видалення навантажень* на стрічці.

Змініть номер завантаження на наступний за допомогою кнопки  *Наступне завантаження* на нижній панелі інструментів. Виберіть елементи схеми, на які діють тимчасові навантаження, натисніть на стрічці кнопку  *Навантаження* та задайте значення навантажень згідно варіанту.

Змініть номер завантаження на «3», виберіть вузли схеми, на які діють вітрові навантаження. У діалоговому вікні **Задання навантажень** перейдіть на вкладку **Навантаження у вузлах** та задайте значення навантажень згідно варіанту, змінивши напрямок дії на Х.

7. Генерація таблиці РСЗ.

Згідно з будівельними нормами розрахунків армування, підбір та перевірка металевих перерізів здійснюється за не вигідними сполученнями зусиль. Тому для подальшої роботи потрібно виконувати розрахунок РСЗ чи РСН.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Таблиця РСЗ*. У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення зусиль** виберіть норми для розрахунку ДБН В 1.2-2:2006 та задайте:

- для завантаження 1 виберіть зі списку вид завантаження *Постійне (0)*;
- для завантаження 2 виберіть зі списку вид завантаження *Тривале (1)*;
- для завантаження 3 виберіть зі списку вид завантаження *Короткочасне (2)* та встановіть прапорець *Враховувати знакозмінність*.

Задавши номер і параметри кожного із завантажень, щоразу натискайте на кнопку  *Застосувати*. Закривається діалогове вікно натисканням на кнопку  *Підтвердити*.

8. Задання розрахункових перерізів для ригелів.

Щоб виконати конструювання елемента, що працює на згин, потрібно обчислити зусилля у трьох чи більше перерізах. Відзначте горизонтальні елементи схеми. На стрічці *Стержні* натисніть кнопку  *Розрахункові перерізи стержнів* та задайте кількість розрахункових перерізів $N = 5$.

9. Виконання розрахунку задачі.

На стрічці *Розрахунок* натисніть на кнопку  *Виконати розрахунок*.

10. Візуалізація результатів розрахунку.

Для переходу в режим візуалізації результатів перейдіть на стрічку *Аналіз*. Для виводу епюр сил та моментів у елементах схеми натисніть кнопку відповідного типу епюр **N**, **Q_z**, **M_x** на стрічці. Для перегляду епюр від різних завантажень змінюйте номер завантаження на нижній панелі інструментів.

На стрічці *Аналіз* натисніть кнопку  *Інтерактивні таблиці* і у списку виберіть формування таблиць *Коефіцієнти РСЗ* та *РСЗ (стержні)* для виводу їх на екран.

3. Контрольні запитання.

1. Побудова геометрії плоскої рами.
2. Задавання граничних умов у вузлах розрахункової схеми.
3. Способи задавання жорсткості перерізів у ПК ЛІРА-САПР.
4. Задавання кількох типів завантажень на розрахункову схему.
5. Порядок генерації розрахункових сполучень зусиль.
6. Візуалізація результатів розрахунку плоскої рами.

Лабораторна робота № 3. Дослідження напружено-деформованого стану балки-стілки

Мета роботи: ознайомитися з методикою розрахунку головних і еквівалентних напружень в елементах схеми; провести розрахунок напружено-деформованого стану балки-стілки.

1. Завдання.

Розрахувати балку-стілку (рис. 3.1) розмірами $a \times b$ і товщиною H , що затиснена по своїй нижній грані, а до протилежної грані прикладені навантаження згідно варіанту (табл. 3.1). Обчислити головні та еквівалентні напруження в одному розрахунковому сполученні зосереджених навантажень. Розрахунок виконати для сітки скінченних елементів з кроком 0,5 м.

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На головній панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛРЗ» і ознаку схеми «1».

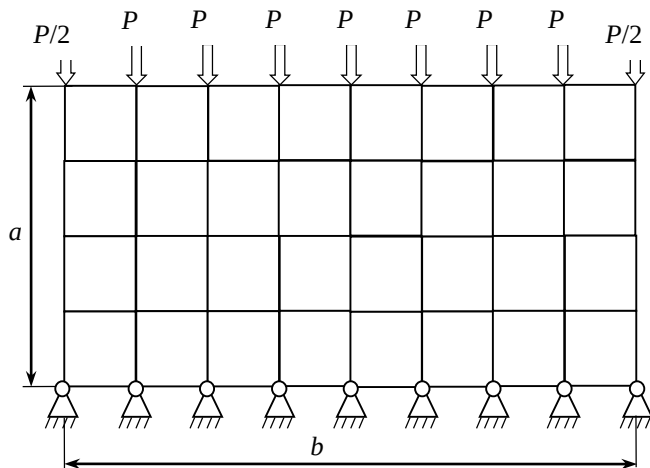


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема балки-стінки

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку

Варіант	a , м	b , м	H , см	P , кН
1	3	6	15	15
2	4	8	20	12
3	5	10	30	12
4	3	6	15	12
5	4	8	25	10
6	5	10	30	10
7	3	6	20	13
8	4	8	20	10
9	5	10	25	8
10	3	6	15	13
11	4	8	25	13
12	5	10	30	8
13	3	6	15	8
14	4	8	25	10
15	5	10	25	8

2. Створення геометричної схеми.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей*. У діалоговому вікні **Створення плоских фрагментів та сітей** перейдіть на вкладку **Генерація балки-стінки**, після цього задайте крок СЕ вздовж горизонтальної та вертикальної осей 0,5 м та необхідну кількість кроків. Натисніть кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

3. Задання граничних умов.

Відзначте вузли схеми на затиснутій грані балки-стінки. Натисніть на стрічці *Створення та редагування* кнопку  *В'язі*. У діалоговому вікні **В'язі у вузлах** відзначте напрямки, за якими забороняються переміщення вузлів (X , Z) та натисніть кнопку  *Застосувати*.

4. Задання жорсткісних параметрів балки-стінки.

За допомогою кнопки  *Відмітка елементів* на панелі інструментів виділіть всі елементи балки-стінки. На стрічці *Створення та редагування* натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку *Додати>>*, перейдіть на вкладку **Пластинасті, об'ємні, чисельні** і задайте переріз *Пластини*. Задайте параметри перерізу: модуль пружності $E = 3e7$ кН/м², коефіцієнт Пуассона – $\nu = 0.2$, питома вага

матеріалу $R_0 = 25 \text{ кН/м}^3$. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть на кнопку  *Застосувати*.

5. Задання навантажень.

Задайте зосереджене навантаження на вузли верхньої грані балки-стілки.

6. Виконання розрахунку задачі.

7. Обчислення головних та еквівалентних напружень, візуалізація результатів.

На стрічці *Розширений аналіз* натисніть кнопку  *Розрахунок (ЛІТЕРА)*. У діалоговому вікні **Обчислення головних та еквівалентних напружень** встановіть прапорці *Головні* та *Еквівалентні* в полі *За зусиллям*. Виберіть зі списку *Теорія найбільших головних напружень* та натисніть кнопку **Виконати розрахунок**.

Виведіть на екран мозаїки та ізополя обчислених головних та еквівалентних напружень за допомогою кнопок N_1 , N_2 , N_3 разом з визначеними напрямками головних напружень , .

3. Контрольні запитання.

1. Особливості розрахунку балки-стілки.
2. Головні напруження в елементах схеми.
3. Еквівалентні напруження.
4. Послідовність обчислення головних та еквівалентних напружень.
5. Основні теорії міцності.

Лабораторна робота № 4. Розрахунок циліндричного резервуару

Мета роботи: ознайомитися з особливостями створення розрахункових схем просторових компонентів, їх упакування та порядком розрахунку навантажень на фрагменти схеми; провести статичний розрахунок циліндричного резервуару.

1. Завдання.

Виконати розрахунок залізобетонного резервуару радіусом R та висотою H на фундаменті на природній основі. Товщина стінки d , товщина дна h (табл. 4.1). Розрахунок здійснити на навантаження від внутрішнього тиску води. Модуль пружності для бетону прийняти $E = 30 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.2$. Використати умови симетрії. Проаналізувати напружений стан конструкції.

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР4» і ознаку схеми «5».

2. Створення геометричної схеми.

Натисніть кнопку  *Поверхні обертання* на стрічці. У діалоговому вікні **Поверхні обертання** задайте необхідні для генерації циліндра параметри: R, H – згідно варіанту; $n1 = 20$; $n2 = 9$; $\varphi_i = 90^\circ$. Решту параметрів прийміть за замовчуванням.

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку

Варіант	$R, \text{м}$	$H, \text{м}$	$d, \text{см}$	$h, \text{см}$
1	2	3	15	20
2	2	3	20	25
3	3	3	15	25
4	3	3	15	30
5	3	4	20	25
6	3	4	20	30
7	3	4	25	30
8	2,5	3	15	20

Варіант	$R, \text{м}$	$H, \text{м}$	$d, \text{см}$	$h, \text{см}$
9	2,5	3	20	25
10	3	3,5	20	25
11	3	3,5	20	30
12	3	3,5	15	20
13	3	3,5	15	25
14	2,5	3,5	15	25
15	2,5	3,5	20	25

У діалоговому вікні **Поверхні обертання** активуйте закладку генерації конуса та задайте параметри: R – згідно варіанту; $r = 0 \text{ м}$; $H = 0 \text{ м}$; $n1 = 10$; $n2 = 9$; $\varphi_i = 90^\circ$.

3. Упакування схеми.

Натисніть кнопку  *Упаковка схеми* на стрічці. У діалоговому вікні **Упаковка схеми** натисніть на кнопку  *Застосувати*.

4. Призначення локальної системи координат вузлам розрахункової схеми.

Відзначте усі вузли схеми, крім центрального вузла дна. На стрічці *Вузли* натисніть кнопку  *Локальні осі вузлів* та у діалоговому вікні **Локальні осі вузлів** деактивуйте координату $Z2$ і натисніть кнопку  *Застосувати*. Таким чином задається координата точки, від якої будуть направлятись локальні осі X і Y (координата Z змінна по висоті, тому знімається відповідний прапорець).

5. Задання граничних умов.

Відзначте усі вузли схеми. Натисніть кнопку  *В'язі*. Вузли закріпіть за локальними напрямками Y, UX і UZ – ці напрямки відповідають зв'язкам симетрії на площині відсікання. Натисніть кнопку  *Застосувати*.

Виділіть вузли стикування стінки і дна резервуару, закріпіть їх у напрямку Z .

6. Задання жорсткісних характеристик.

Натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** сформуєте список потрібних типів жорсткостей. Натисніть кнопку *Додати>>*, оберіть закладку числового опису жорсткості та активуйте переріз *Пластини*. Задайте параметри перерізу:

- модуль пружності – $E = 3e7 \text{ кН/м}^2$;
- коефіцієнт Пуассона – $V = 0.2$;

- товщина плити h ;
- питома вага матеріалу – $R_0 = 27.5 \text{ кН/м}^3$.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** виділіть створений тип жорсткості і натисніть на кнопку *Копіювати*. Виділіть другий рядок і натисніть на кнопку *Змінити*, задайте нове значення товщини плити d для стінки резервуару.

Призначте створені типи жорсткостей елементам дна та стінки резервуару. Для полегшення операції виділення елементів дна скористайтесь кнопкою  *Відмітка блоку*.

7. Задання навантажень.

Відзначте елементи дна та задайте тиск води на дно резервуару. Для цього у діалоговому вікні **Задання навантажень** активуйте закладку **Навантаження на пластини**. Вкажіть систему координат *Глобальна*, напрямок – вздовж осі Z і задайте рівномірно розподілене навантаження (10 кН/м^2 з розрахунку на кожен метр висоти резервуару).

На стінки резервуару призначте навантаження від тиску води, що лінійно зменшується по висоті. Для цього у діалоговому вікні **Задання навантажень** активуйте закладку **Навантаження на пластини**. Вкажіть систему координат *Місцева*, напрямок – вздовж осі Z і задайте трапецієвидне навантаження на групу елементів та напрям, за яким змінюється величина навантаження – вздовж осі Z .

8. Виконання розрахунку задачі.

9. Візуалізація результатів розрахунку.

Виділіть вузли та елементи дна резервуару. На нижній панелі інструментів натисніть кнопку  *Інверсна фрагментація*. На екрані залишаються лише елементи стінки. На стрічці *Аналіз* натисніть кнопку  *Ізополя переміщень у локальній системі* та виведіть ізополя переміщень у напрямку осі X . Щоб відновити попередній вигляд схеми, На нижній панелі інструментів натисніть кнопку  *Відновлення конструкції*.

Позначте всі вузли та елементи дна. На нижній панелі інструментів натисніть кнопку  *Фрагментація*. На стрічці *Аналіз* натисніть кнопку  *Ізополя переміщень у глобальній системі* та виведіть ізополя переміщень у напрямку осі Z .

10. Обчислення навантаження на фрагмент.

Виділіть вузли стикування дна зі стінкою. На стрічці *Розширений аналіз* натисніть кнопку  *Розрахувати навантаження на фрагмент*. У діалоговому вікні **Розрахунок навантажень на фрагмент** натисніть кнопку **Оновити** та **Виконати розрахунок**. Виведіть сумарні значення сил та моментів на вказані вузли ΣP_x , ΣP_y , ΣM_x , ΣM_y .

3. Контрольні запитання.

1. Особливості створення геометричної моделі просторових тіл.

2. Врахування симетрії при розрахунку задачі.
3. Упакування схеми.
4. Зміна локальної системи координат вузлів схеми.
5. Візуалізація результатів розрахунку просторових схем.
6. Послідовність обчислення навантаження на фрагмент схеми.

Лабораторна робота № 5. Розрахунок плоскої комбінованої системи з використанням суперелементів

Мета роботи: ознайомитися з особливостями розрахунку з використанням суперелементного підходу; провести розрахунок плоскої комбінованої системи за допомогою суперелементів.

1. Завдання.

Виконати статичний розрахунок поперечної діафрагми будівлі, виконаної з балок-стінок товщиною h і стержнів рами (рис. 5.1) за допомогою суперелементів згідно варіанту (табл. 5.1). Параметри жорсткості колон та балок рами взяти з лабораторної роботи № 2. Розрахунок виконати на два завантаження – від власної ваги та довготривале q .

Таблиця 5.1 – Дані для розрахунку

Варіант	a , м	b , м	h , см	L , м	H , м	q , кН/м
1	3	3	20	4	3,5	5
2	3	4	25	4	3,5	8
3	4	3	15	3	3,5	8
4	4	4	10	3	3,5	10
5	3	3	15	4	3	9
6	3	4	25	4	3	6
7	4	3	20	3	3	7
8	4	4	18	3	3	5
9	3	3	13	4	4	8
10	3	4	20	4	4	7
11	4	3	25	3	4	10
12	4	4	10	3	4	10
13	3	4	18	3	4	9
14	3	4	15	3	3,5	8
15	4	4	13	4	3	5

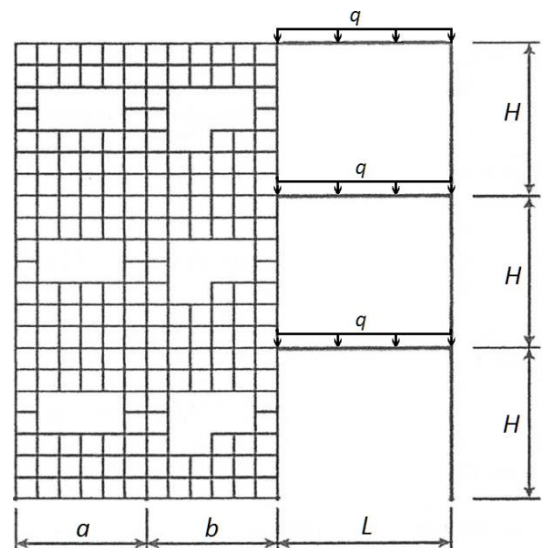


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема плоскої комбінованої системи

2. Порядок виконання завдання

А. Формування суперелементу типу I.

1. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «*ЛР5-СЕ1*» і ознаку схеми «5».

2. Створення геометричної схеми.

Натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей* на стрічці. У діалоговому вікні **Створення плоских фрагментів та сітей** перейдіть на вкладку **Генерація балки-стілки**, після цього задайте крок СЕ вздовж горизонтальної та вертикальної осей 0,5 м та необхідну кількість кроків. Натисніть на кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

Для формування вирізу розміром 2x1 м виділіть його внутрішні вузли та натисніть кнопку  *Видалення вибраних об'єктів*.

3. Упакування схеми.

Натисніть кнопку  *Упаковка схеми* на стрічці. У діалоговому вікні **Упаковка схеми** натисніть на кнопку  *Застосувати*.

4. Призначення жорсткостей.

Аналогічно до попередніх лабораторних робіт задайте жорсткість елементам балки-стілки згідно варіанту.

5. Задання завантажень.

Натисніть на стрічці кнопку  *Додати власну вагу*, виберіть опцію *Усі елементи* та натисніть кнопку  *Застосувати*.

6. Призначення супервузлів.

Виділіть кутові вузли балки-стілки. Щоб надати їм статусу супервузлів, на стрічці *Розширене редагування* натисніть кнопку  *Супервузли*. У діалоговому вікні **Супервузли** на вкладці **Призначити супервузли** натисніть кнопку  *Застосувати*. Вузли зафарбуються в оливковий колір. У діалоговому вікні **Супервузли** перейдіть на вкладку **Призначити базисні СУ** та по одному виберіть три кутових вузли, що будуть визначати орієнтацію суперелемента в основній схемі. Вони зафарбуються в малиновий, жовтий і блакитний кольори.

7. Збереження даних.

Збережіть створений суперелемент, натиснувши кнопку  *Зберегти*. У діалоговому вікні **Зберегти як** задайте ім'я файлу та папку, в якій буде збережено цей файл.

Б. Формування суперелементу типу II.

8. Повторіть пункти 1–7 для створення іншого типу суперелементів та збережіть його в новий файл з ім'ям задачі «*ЛР5-СЕ2*».

В. Формування основної схеми.

9. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «*ЛР5*» і ознаку схеми «5».

10. Створення геометричної схеми.

Натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей* на стрічці. У діалоговому вікні **Створення плоских фрагментів та сітей** перейдіть на вкладку **Генерація рами**, після цього задайте крок SE вздовж горизонтальної та вертикальної осей та необхідну кількість кроків згідно варіанту. Натисніть на кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

Виділіть та видаліть елементи рами в перших двох прольотах так, щоб у схемі залишилися відповідні їм вузли. Виведіть на екран номери вузлів та виконайте упакування схеми.

11. Задання граничних умов.

Виділіть всі вузли схеми та забороніть для них переміщення відносно Y, UX, UZ. Для трьох нижніх вузлів схеми додатково забороніть переміщення відносно X, Z, UY.

12. Призначення жорсткостей.

Задайте колонам та ригелям схеми жорсткості згідно варіанту до лабораторної роботи № 2.

13. Вставка суперелементів в основну схему.

На стрічці *Розширене редагування* натисніть кнопку  *Додати SE*. У діалоговому вікні **Додати суперелемент** натисніть кнопку **Вибрати** та відкрийте файл із суперелементом типу I. Щоб вставити суперелемент послідовно вкажіть мишкою три вузли основної схеми, до яких повинні стикуватися базисні супервузли. Після вибору кожної трійки вузлів необхідно натискати кнопку  *Застосувати*.

Повторіть даний пункт для вставки суперелементів типу II.

Виконайте упаковку схеми.

14. Задання навантажень.

Призначте всім елементам схеми завантаження від власної ваги.

Виберіть усі суперелементи на схемі та натисніть кнопку  *Навантаження*. У діалоговому вікні **Задання навантажень** перейдіть на вкладку **Супернавантаження** та натисніть кнопку **Super**. У діалоговому вікні **Супернавантаження** введіть номер завантаження, яке завантажується з файлу суперелемента – 1, коефіцієнт – 1 та натисніть кнопку  *Підтвердити*.

Змініть номер завантаження на 2 та задайте навантаження на балки рами згідно варіанту.

15. Виконання розрахунку задачі.

16. Візуалізація результатів розрахунку.

За допомогою кнопки  *Вихідна схема* включіть режим недеформованої схеми. Виведіть на екран епюри сил та моментів у стержнях схеми. Виведіть ізополя напружень в елементах балок-стінок N_x , N_y , τ_{xy} .

3. Контрольні запитання.

1. Принципи суперелементного підходу при розрахунку задач МСЕ.
2. Порядок формування суперелементів.
3. Послідовність вставки суперелементів в основну схему.
4. Включення суперзавантажень при розрахунку схеми.
5. Візуалізація результатів розрахунку схеми з використанням суперелементів.

Лабораторна робота № 6. Розрахунок армування залізобетонних елементів

Мета роботи: ознайомитися з порядком армування залізобетонних елементів; провести розрахунок армування елементів плоскої рами.

1. Завдання.

Виконати розрахунок і конструювання елементів залізобетонної рами (колони та ригеля). Вихідними даними є результати виконання лабораторної роботи № 2.

2. Порядок виконання завдання.

1. Збереження даних.

Відкрийте файл з результатами виконання лабораторної роботи № 2 та збережіть його під новою назвою «ЛР6».

2. Задання характеристик матеріалу.

Натисніть кнопку  **Жорсткості** на стрічці, у діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** відзначте прапорець *Матеріал* та виберіть норми для проектування – *ДБН В.2.6-98:2009*, встановіть розрахунок перерізів за РСЗ. Перейдіть на вкладку *З/Б* внизу діалогового вікна **Жорсткості та матеріали**, позначте радіо-кнопку *Тип* і натисніть на кнопку **Додати**. На екран виводиться діалогове вікно **Загальні характеристики**, у якому задайте параметри для колон:

- у спадаючому списку виберіть модуль армування *Стержень*;
- в полі *Конструктивні особливості стержнів* позначте радіо-кнопку *Колона* та зніміть прапорець *НЕ враховувати конструктивні вимоги*;
- відзначте прапорці *Враховувати спільну дію зусиль* та *Розрахунки по граничних станах II групи*;
- в полі *Розрахункові довжини* позначте радіо-кнопку *Коефіцієнт розрахун. Довжини* та задайте параметри $L_Y = 0.7$, $L_Z = 0.7$.

Решту параметрів залиште за промовчанням і натисніть на кнопку  **Підтвердити**. Система повертається до діалогового вікна **Жорсткості та матеріали**.

Знову натисніть на кнопку **Додати** і задайте параметри для балок:

- в полі *Конструктивні особливості стержнів* позначте радіо-кнопку *Балка* та зніміть прапорець *НЕ враховувати конструктивні вимоги*;
- відзначте прапорці *Враховувати спільну дію зусиль* та *Розрахунки по граничних станах II групи*;
- в полі *Розрахункові довжини* позначте радіо-кнопку *Коефіцієнт розрахун. Довжини* та задайте параметри $L_y = 0$, $L_z = 0$.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Бетон* і натисніть на кнопку **Додати**. У діалоговому вікні **Характеристики бетону** задайте клас бетону C30/35, решту параметрів залиште за промовчанням. Натисніть кнопку  **Підтвердити**.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Арматура* і натисніть на кнопку **Додати**. У діалоговому вікні **Характеристики арматури** задайте клас поздовжньої (A400C) та поперечної (A240C) арматури. Натисніть кнопку  **Підтвердити**.

3. Призначення матеріалу.

Виділіть усі вертикальні елементи рами, у діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** позначте радіо-кнопку *Тип* і у списку виділіть рядок, що відповідає колонам, та натисніть кнопку **Призначити поточним**. Після цього натисніть на кнопку  **Застосувати**.

Виділіть усі горизонтальні елементи рами, у діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** у списку виділіть рядок, що відповідає балкам, та натисніть кнопку **Призначити поточним**. Після цього натисніть на кнопку  **Застосувати** та закрийте діалогове вікно.

4. Задання конструктивних елементів.

Виділіть всі СЕ схеми та натисніть кнопку  **Конструктивні елементи**. У діалоговому вікні **Конструктивні елементи** натисніть кнопку **Створити КоЕ**. Таке задання виконується, щоб вказати, що різні СЕ належать одній нерозрізній балці чи суцільній колоні.

5. Розрахунок армування.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  **Виконати розрахунок**.

6. Формування таблиць та перегляд результатів армування.

Перейдіть на стрічку *Конструювання* та виведіть на екран площі армування колон, натиснувши кнопки  **Симетрія** і  **Сумарна арматура**, після чого додайте всі типи армування. Повторіть операції для армування балок, натиснувши кнопку  **Несиметрія**.

На стрічці натисніть кнопку  *Документація*. В діалоговому вікні виберіть для яких елементів формуються результати і натисніть кнопку **Таблицю на екран**.

3. Контрольні запитання.

1. Задання характеристик матеріалу для розрахунку армування.
2. Особливості призначення параметрів армування для різних видів елементів схеми.
3. Задання конструктивних елементів розрахункової схеми.
4. Перегляд результатів армування.

Лабораторна робота № 7. Розрахунок і конструювання плит

Мета роботи: ознайомитися з особливостями задавання розрахункових схем плоских елементів; провести статичний розрахунок плити та її армування.

1. Завдання.

Розрахувати залізобетонну плиту з розмірами $a \times b$ і товщиною H згідно варіанту. Коротка сторона плити шарнірно оперта по всій довжині на стіну, протилежна – своїми кінцями на колони. Довгі сторони плити вільні. Виконати статичний розрахунок згідно варіанту (табл. 7.1), скласти таблицю РСЗ, підібрати арматуру плити. Завантаження 1 – власна вага плити, завантаження 2, 3 – згідно схеми (рис. 7.1).

Таблиця 7.1 – Дані для розрахунку

Варіант	a , м	b , м	H , см	$P2$, кН	$P3$, кН
1	3	6	15	20	15
2	4	8	20	15	12
3	5	10	30	15	12
4	3	6	15	15	12
5	4	8	25	15	10
6	5	10	30	13	10
7	3	6	20	18	13
8	4	8	20	13	10
9	5	10	25	12	8
10	3	6	15	18	13
11	4	8	25	15	13
12	5	10	30	12	8
13	3	6	15	12	8
14	4	8	25	13	10
15	5	10	25	10	8

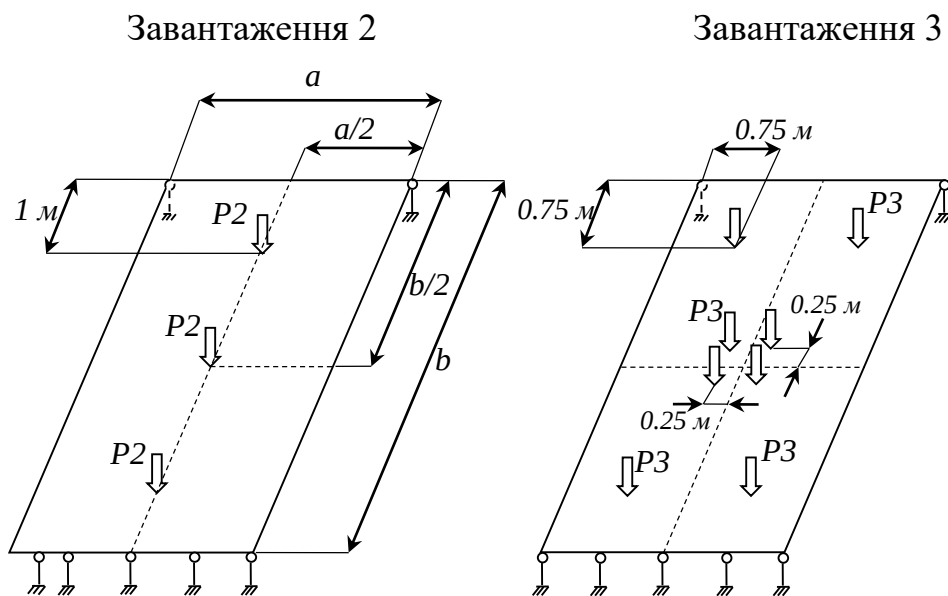


Рисунок 7.1 – Розрахункова схема плити

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схем** задайте ім'я задачі «ЛР7» і ознаку схеми «3».

2. Створення геометричної схеми.

Натисніть кнопку *Генерація регулярних фрагментів та сітей* на стрічці. У діалоговому вікні **Створення плоских фрагментів та сітей** перейдіть на вкладку **Генерація плити**, після цього задайте крок СЕ вздовж горизонтальної та вертикальної осей 0,5 м та необхідну кількість кроків. Натисніть на кнопку *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

3. Задання граничних умов.

Відзначте вузли обпирання плити. Натисніть на стрічці кнопку *В'язі*. У діалоговому вікні **В'язі у вузлах** відзначте напрямки, за яким забороняються переміщення вузлів (Z) та натисніть на кнопку *Застосувати*.

4. Задання жорсткісних параметрів плити.

На стрічці натисніть на кнопку *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** відзначте прапорці *Жорсткість* і *Матеріали*, виберіть нормативний документ *ДБН В.2.6-98:2009* і встановіть розрахунок перерізів за РСЗ.

Натисніть кнопку *Додати>>*, перейдіть на вкладку **Пластинчасті, об'ємні, чисельні** і задайте переріз *Пластини*. Задайте параметри перерізу: модуль пружності $E = 3e7 \text{ кН/м}^2$, коефіцієнт Пуассона – $\nu = 0.2$, питома вага матеріалу $R_0 = 27.5 \text{ кН/м}^3$.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** перейдіть на вкладку *З/Б*, відзначте радіо-кнопку *Тип* і натисніть на кнопку *Додати*. На екран виводиться

діалогове вікно **Загальні характеристики**, у якому задайте модуль армування – *плита*. Встановіть прапорець *розрахунки по граничних станах II групи*, решту параметрів залиште за промовчанням і натисніть на кнопку *Підтвердити*.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Бетон* і натисніть на кнопку *Додати*. У діалоговому вікні **Характеристики бетону** задайте клас бетону C30/35, та натисніть кнопку *Підтвердити*.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Арматура* і натисніть на кнопку *Додати*. У діалоговому вікні **Характеристики арматури** задайте класи поздовжньої (A400C) та поперечної (A240C) арматури та натисніть кнопку *Підтвердити*.

Виділіть всі елементи схеми та натисніть на кнопку *Застосувати*.

5. Задання навантажень.

У першому завантаженні задайте власну вагу плити. Для цього на стрічці натисніть кнопку *Додати власну вагу*, виберіть опцію *На всі елементи (за типом жорсткості)* та натисніть кнопку *Застосувати*.

Задайте навантаження у вузлах (завантаження 2) та елементах схеми (завантаження 3) згідно варіанту.

6. Генерація таблиці РСЗ.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку *Таблиця РСЗ*. У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення зусиль** виберіть нормативний документ *ДБН В.1.2-2:2006* та задайте види завантажень: для завантаження 1 – *Постійне (0)*, для завантажень 2, 3 – *Тривале (1)*. Задавши номер і параметри кожного із завантажень, щоразу натискайте на кнопку *Застосувати*.

7. Виконання розрахунку задачі та перегляд результатів.

В

и

8. Формування таблиць та перегляд результатів армування.

Перейдіть на стрічку *Конструювання* та виведіть площі верхнього () і нижнього () армування плити. Щоб згенерувати таблицю з результатами армування натисніть кнопку *Документація*. В діалоговому вікні виберіть для яких елементів формуються результати і натисніть кнопку **Таблицю на екран**.

т

3. Контрольні запитання.

1. Особливості побудови розрахункових схем плоских елементів.
2. Задавання навантажень на елементи плити та формування РСЗ.
3. Візуалізація результатів розрахунку плити.
4. Задавання характеристик матеріалу плити для розрахунку армування.
5. Розрахунок армування плити та перегляд результатів.

а

х

у

н

Лабораторна робота № 8. Розрахунок та проектування металевих конструкцій

Мета роботи: ознайомитися з порядком розрахунку сталевих конструкцій; виконати підбір та перевірку сталевих перерізів елементів плоскої рами.

1. Завдання.

Використовуючи вихідні дані лабораторної роботи № 2 (у припущенні сталевого каркасу), виконати підбір та перевірку перерізів елементів рами за РСН. Дані для розрахунку приведені в табл. 8.1.

2. Порядок виконання завдання.

1. Збереження даних.

Відкрийте файл з результатами лабораторної роботи № 2 та збережіть його під новим ім'ям «ЛР8».

2. Задання жорсткісних параметрів елементів рами.

Таблиця 8.1 – Дані для розрахунку

Варіант	Профіль та матеріал балки	Профіль та матеріал колони
1	2	3
1	Двотавр 40Б1 ВСт3кп2	Коробка з двотаврів 30К1 Сталь 18Гпс
2	Двотавр 50Б2 ВСт3кп2	Розсунуті двотаври 35К1, стикування Z=40 см, розкіс – кутник 32х32х4 ВСт3сп5
3	Двотавр 40Б2 ВСт3Гпс5	Двотавр 30К3 зі швелером 30, стикування Z=30 см, розкіс – кутник 35х35х5; ВСт3Гпс5
4	Двотавр 55Б1 Сталь 18сп	Швелер 30 з двотавром 30К3, стикування Z=30 см, розкіс – кутник 40х40х4 ВСт3сп5
5	Двотавр 60Б2 ВСт3кп2	Коробка з двотаврів 30К Сталь 18пс
6	Два швелери 20П Сталь 18Гпс	Двотавр 30К1 зі швелером 30П, стикування Z=30 см, розкіс – кутник 40х40х6; Сталь 09Г2
7	Два швелери 22П Сталь 09Г2	Швелер 30П з двотавром 30К2, стикування Z=30 см, розкіс – кутник 35х35х5; ВСт3сп5
8	Два швелери 24П ВСт3сп5	Двотавр 40К2 зі швелером 40, стикування Z=40 см, розкіс – кутник 40х40х6; ВСт3Гпс5
9	Два швелери 22аП ВСт3кп2	Швелер 40 з двотавром 40К4, стикування Z=40 см, розкіс – кутник 40х40х4 Сталь 09Г2
10	Швелер 27 ВСт3сп5-2	Розсунуті двотаври 40К5, стикування Z=45 см, розкіс – кутник 40х40х6 ВСт3пс6
11	Швелер 33 Сталь 09Г2	Коробка з двотаврів 35К2 Сталь 18пс
12	Швеллер 30 ВСт3кп2	Двотавр 40К1 зі швелером 40П, стикування Z=40 см, розкіс – кутник 35х35х5; ВСт3сп5-2

1	2	3
13	Швелер 36 Сталь 18Гсп	Швелер 40П з двотавром 40К1, стикування Z=40 см, розкіс – кутник 35х35х5; Сталь 09Г2
14	Швелер 27П ВСт3кп2	Розсунуті двотаври 35К3, стикування Z=40 см, розкіс – кутник 35х35х5 ВСт3сп5-2
15	Швелер 30П Сталь 09Г2	Коробка з двотаврів 30К2 Сталь 18Гпс

На стрічці натисніть на кнопку  **Жорсткості**. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку Додати>>, оберіть вкладку **База металевих перерізів** і виберіть профіль відповідно до свого варіанту. В діалоговому вікні **Сталевий переріз** задайте параметри для кожного із компонентів перерізу. При потребі натисніть на кнопку **Стикування>>** і відкоректуйте параметри стикування профілів. Призначте задані типи жорсткості горизонтальним та вертикальним елементам рами у відповідності з варіантом. Для цього виберіть необхідний тип перерізу, встановіть його поточним, виділіть потрібні елементи схеми та натисніть кнопку  **Застосувати** у діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали**.

3. Задання додаткових характеристик для розрахунку.

Натисніть на кнопку  **Жорсткості** на стрічці. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** відзначте прапорець *Матеріал* та виберіть норми для проектування – *ДБН В.2.6-198:2014*, встановіть розрахунок перерізів за РСН. Перейдіть на вкладку *Сталь* внизу діалогового вікна **Жорсткості та матеріали**, позначте радіо-кнопку *Матеріал* і натисніть на кнопку **Додати**. На екран виводиться діалогове вікно **Параметри**, у якому задайте марку сталі для балок згідно варіанту. При потребі створіть ще один тип матеріалу для колон, задавши тип решітки – *Розкісна* та переріз розкосів згідно варіанту.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Додаткові характеристики* і натисніть на кнопку **Додати**. У діалоговому вікні **Параметри** відзначте радіо-кнопку відповідно до призначення перерізу (*Балка* чи *Колона*), а потім задайте інші характеристики:

- для балок:

- встановіть прапорець *використовувати коефіцієнти довжини*;
- задайте коефіцієнт $K_b = 0.85$;
- залежно від варіанту при потребі встановіть прапорець *Балка з однією віссю симетрії*.

- для колон:

- встановіть прапорець *використовувати коефіцієнти довжини*;

- задайте коефіцієнти розрахункової довжини відносно осей KZ та KY рівними 1, $K_b = 0.85$;
- встановіть радіо-кнопку *основна колона*.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Обмеження підбору* і натисніть на кнопку **Додати**. У діалоговому вікні **Параметри** залиште налаштування за промовчанням та натисніть **ОК**.

Змінюючи поточні параметри, призначте комбінацію матеріалу, додаткових характеристик та обмеження для підбору на всі колони та балки схеми.

4. Задання конструктивних елементів.

Виділіть балки та колони розрахункової схеми і натисніть кнопку  *Конструктивні елементи*. У діалоговому вікні **Конструктивні елементи** натисніть кнопку **Створити КоЕ**. Таке задання виконується, щоб вказати, що різні СЕ належать одній нерозрізній балці чи суцільній колоні.

5. Призначення розкріплень у вузлах елементів.

Прогин перерізів елемента визначається відносно лінії, що з'єднує розкріплення на його кінцях. Відзначте горизонтальні елементи схеми. Натисніть на кнопку  *Розкріплення для прогинів* на стрічці. У діалоговому вікні **Розкріплення для прогинів** задайте напрямок розкріплень Y1, Z1, виберіть зі списку варіант *На кінцях конструктивних елементів* і натисніть  *Створити*.

6. Задання розрахункових сполучень навантажень (РСН).

На стрічці *Розрахунок* натисніть на кнопку  *РСН*. У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення навантажень** виберіть норми проектування – *ДБН В.1.2-2:2006*. У списку видів завантажень задайте вид для кожного завантаження:

- для першого завантаження – *Постійне (П)*;
- для другого – *Тривале (Т)*;
- для третього – *Короткочасне (К)*.

В нижній частині діалогового вікна натисніть кнопку **Додати**. У таблиці з'являються стовпчики з величинами коефіцієнтів відповідно до застосовуваних формул. Натисніть на кнопку  *Зберегти дані* та закрийте діалогове вікно.

7. Виконання розрахунку задачі.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Виконати розрахунок*.

8. Перевірка призначених перерізів.

Для перегляду результатів перевірки перерізів перейдіть на вкладку *Конструювання* та виведіть на екран відсотки вичерпання несучої здатності за  *1-м граничним станом*,  *2-м граничним станом* та  *Місцевою стійкістю*. На стрічці натисніть кнопку  *Документація* та сформууйте таблицю з результатами перевірки перерізів.

9. Підбір перерізів рами.

У випадку, якщо розрахункові перевірки задовольняються не для всіх перерізів, виконується підбір оптимальних перерізів. Для підібраних перерізів виведіть на екран відсотки вичерпання несучої здатності за  1-м граничним станом,  2-м граничним станом та  Місцевою стійкістю. На стрічці натисніть кнопку  Документація та сформууйте таблицю з результатами підбору перерізів.

3. Контрольні запитання.

1. Особливості задання складених перерізів сталевих елементів розрахункової схеми.
2. Обчислення розрахункових сполучень навантажень.
3. Задання додаткових характеристик матеріалу для перевірки та підбору сталевих перерізів.
4. Задання конструктивних елементів розрахункової схеми.
5. Перевірка призначених перерізів елементів схеми.
6. Підбір та конструювання перерізів за результатами розрахунку.

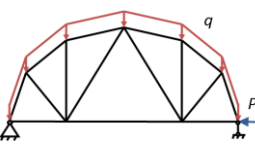
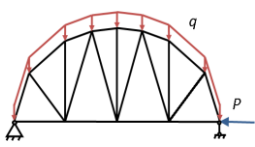
Лабораторна робота № 9. Розрахунок та конструювання ферм

Мета роботи: ознайомитися з особливостями створення та розрахунку моделей фермових конструкцій; провести статичний розрахунок та підбір перерізів фермової конструкції.

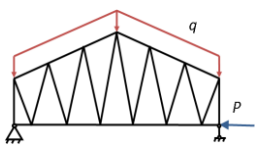
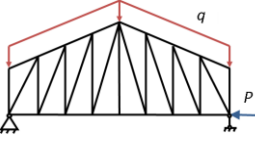
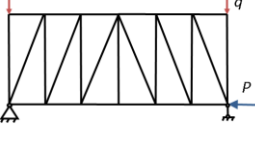
1. Завдання.

Виконати статичний розрахунок фермової конструкції згідно варіанту (табл. 9.1) на три завантаження – від власної ваги, довготривале (P) та снігове (q). Провести підбір профілів ферми за РСЗ.

Таблиця 9.1 – Дані для розрахунку

Варі-ант	Схема	Розміри	P , кН	q , кН/м	Профіль пояса	Профіль розкосів	Матеріал
1	2	3	4	5	6	7	8
1		$L=6$ м, $K_f=6$	8	10	Двотавр типу Ш	Кутник нерівнополочний	ВСт3пс6
2		$L=12$ м, $K_f=6$	12,5	7,5	Тавр типу Ш	Кутник рівнополочний	ВСт3сп5
3		$L=9$ м, $K_f=7$	10	9	Два кутника рівнополочних	Кутник рівнополочний	ВСт3кп2
4		$L=6$ м, $K_f=7$	7,5	12	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана	ВСт3пс
5		$L=12$ м, $K_f=7$	12	8	Два кутника нерівнополочних	Кутник нерівнополочний	18пс
6		$L=9$ м, $K_f=6$	8	10	Двотавр типу Б	Кутник рівнополочний	ВСт3сп5

Закінчення таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6	7	8
7		L=9 м, K=5, H=3 м, h=1.5 м	10	11	Тавр типу Ш	Кутник нерівнополочний	18пс
8		L=6 м, K=3, H=2 м, h=1 м	7,5	10	Два кутника нерівнополочних	Кутник нерівнополочний	ВСт3пс6
9		L=12 м, K=7, h=0.5 м, fi=10°	11	8	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана	ВСт3сп
10		L=6 м, K=4, H=2.5 м, h=1 м	6	12	Два кутника нерівнополочних	Кутник нерівнополочний	ВСт3кп2
11		L=12 м, K=6, h=1 м, fi=8°	10	8	Двотавр типу Б	Кутник рівнополочний	18пс
12		L=9 м, K=6, H=3 м, h=1.5 м	8	10	Двотавр типу Ш	Кутник нерівнополочний	ВСт3пс6
13		L=12 м, K=10, H=3 м	12	8	Два кутника рівнополочних	Кутник рівнополочний	ВСт3кп2
14		L=9 м, K=6, H=1.5 м	8,5	9	Двотавр типу Б	Кутник рівнополочний	18пс
15		L=6 м, K=4, H=1 м	7,5	12	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана	ВСт3сп4

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схем** задайте ім'я задачі «ЛР9» і ознаку схеми «2».

2. Створення геометричної схеми.

Н

а

с 3. Задання граничних умов.

т Забороніть переміщення для крайніх вузлів ферми у відповідності з видом їх закріплення.

і 4. Призначення жорсткостей.

ч Н

ц

г

и

т 5. Задання додаткових характеристик для розрахунку.

и Н

в

н

и

т

н

а

к

натисніть на кнопку **Додати**. На екран виводиться діалогове вікно **Параметри**, у якому задайте марку сталі згідно варіанту.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Додаткові характеристики* і натисніть на кнопку **Додати**. У діалоговому вікні **Параметри** відзначте радіо-кнопку *Фермовий*, вкажіть, до якого елементу ферми відноситься дана жорсткість (пояс чи неопорний розкіс) та задайте коефіцієнти розрахункової довжини відносно осей Z_1 і Y_1 рівними 1.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** активуйте радіо-кнопку *Обмеження підбору* і натисніть на кнопку **Додати**. У діалоговому вікні **Параметри** залиште налаштування за промовчанням та натисніть **ОК**.

Змінюючи поточні параметри, призначте комбінацію матеріалу, додаткових характеристик та обмеження для підбору на всі елементи схеми.

6. Задання навантажень.

Задайте три завантаження на ферму згідно варіанту.

7. Призначення розкріплень у вузлах елементів.

Прогин перерізів елемента визначається відносно лінії, що з'єднує розкріплення на його кінцях. Відзначте горизонтальні елементи схеми. Натисніть на кнопку  *Розкріплення для прогинів* на стрічці. У діалоговому вікні **Розкріплення для прогинів** задайте напрямок розкріплень Y_1 , Z_1 , виберіть зі

п 8. Генерація таблиці РСЗ.

и Н

а

к

у

т 9. Виконання розрахунку задачі.

р Н

а 10. Візуалізація результатів розрахунку.

р П

ц 11. Підбір перерізів рами.

р Перейдіть на стрічку *Конструювання* та виведіть на екран відсотки

в р

й і

д ч

р 12. Контрольні запитання.

р 1. Особливості створення моделей фермових конструкцій в ПК ЛІРА-САПР.

я 2. Обчислення розрахункових сполучень зусиль.

я 3. Імпорт результатів розрахунку в систему ЛІР-СТК.

н з

ц р

я а

х х

4. Задання додаткових характеристик матеріалу для підбору сталевих перерізів.
5. Підбір та конструювання перерізів ферми за результатами розрахунку.

Лабораторна робота № 10. Розрахунок просторової комбінованої системи

Мета роботи: ознайомитися з особливостями створення та розрахунку моделей просторових комбінованих конструкцій; провести статичний розрахунок просторової конструкції та проаналізувати отримані результати.

1. Завдання.

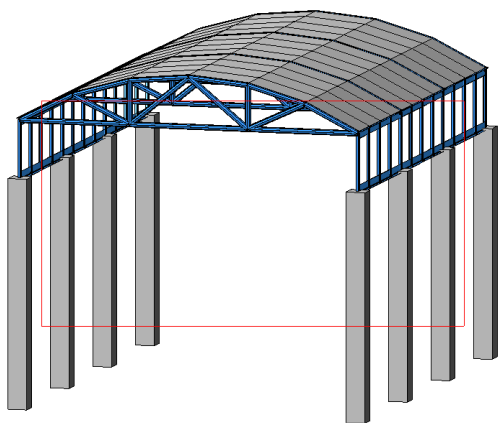


Рисунок 10.1 – 3D-модель розрахункової схеми

Виконати розрахунок просторової схеми (рис. 10.1) прольотом L_x і кроком колон $L_y \times N_y$. Висота будівлі H (табл. 10.1). Колони жорстко зацімлені. Товщина плит покриття – 120 мм. Вид, розміри та профілі поперечних ферм прийняти згідно результатів виконання лабораторної роботи № 9.

Розрахунок виконати на такі завантаження:

- завантаження 1 – власна вага;
- завантаження 2 – снігове величиною q_1 по всій плиті покриття;
- завантаження 3 – снігове на 1/4 плити покриття величиною $q_2=1,5 q_1$.

Таблиця 10.1 – Дані для розрахунку

Варі- ант	Довжина прольоту L_x , м	Крок колон L_y х N_y , м	Переріз колон, см	Висота колон H , м	q_1 , кН/м ²	Поздовжня ферма	
						Профіль пояса	Профіль розкосів
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6	3х3	40х60	3	0,8	Тавр 20БТ*	Два кутники нерівнополочних 75х50х8
2	12	3х5	40х50	7,5	1,0	Тавр 25БТ2	Два кутники рівнополочних 50х6
3	9	3х4	40х40	6	0,6	Тавр 17,5БТ3	Два кутники нерівнополочних 40х30х5

Закінчення таблиці 10.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4	6	4х3	45х40	4	0,8	Тавр 20БТ2	Два кутники рівнополочних 50х6

5	12	3x4	45x60	8	0,8	Тавр 15БТ1	Два кутники нерівнополочних 75x50x8
6	9	3x4	45x45	7	1,0	Тавр 20БТ2	Два кутники рівнополочних 45x5
7	9	3x3	45x50	6	1,0	Тавр 20БТ*	Два кутники нерівнополочних 50x36x5
8	6	3x3	40x50	4	0,8	Тавр 15БТ1	Два кутники нерівнополочних 40x30x5
9	12	3x5	40x60	7,5	0,8	Тавр 17,5БТ3	Два кутники рівнополочних 45x5
10	6	3x3	40x40	4	1,0	Тавр 15БТ1	Два кутники нерівнополочних 50x36x5
11	12	4x3	30x30	8	0,6	Тавр 25БТ2	Два кутники нерівнополочних 75x50x8
12	9	3x4	30x40	6	0,6	Тавр 20БТ*	Два кутники нерівнополочних 40x30x5
13	12	3x5	30x45	7	1,0	Тавр 15БТ1	Два кутники рівнополочних 45x5
14	9	3x4	35x35	5	0,8	Тавр 20БТ2	Два кутники рівнополочних 50x6
15	6	3x3	35x45	3	0,8	Тавр 17,5БТ3	Два кутники нерівнополочних 40x30x5

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схем** задайте ім'я задачі «ЛР10» і ознаку схеми «5».

2. Створення геометричної схеми.

Натисніть кнопку  *Генерація ферм* на стрічці *Створення та редагування*. У діалоговому вікні **Створення плоских ферм** послідовно виберіть тип поясу і решітки ферми та задайте її розміри згідно варіанту за даними лабораторної роботи № 10. Натисніть на кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

Виділіть вузли та елементи ферми, скориставшись кнопкою  *Відмітка блоку* на нижній панелі інструментів. Виконайте копіювання ферми, для цього натисніть кнопку  *Копіювання*, перейдіть на вкладку **Копіювання за параметрами** та задайте кількість копій **N** і відстань **dy** між ними. Натисніть на кнопку  *Застосувати*.

Виділіть елементи верхнього поясу ферми. Натисніть на кнопку  *Переміщення твірної* та задайте відстань **dy**= L_y і кратну їй кількість СЕ **n**. Натисніть на кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

Натисніть кнопку  *Генерація ферм* на стрічці *Створення та редагування* та побудуйте ферму з горизонтальними поясами та

вертикальними розкосами. Задайте параметр $K = L_y$, $H = 1$ м, кут повороту ферми відносно осі $Z = 90^\circ$ та координату жовтого вузла ферми $Z = -1$ м. Натисніть на кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно. Виділіть вузли та елементи ферми. Виконайте копіювання ферми за одним вузлом, для цього натисніть кнопку  *Копіювання*, перейдіть на вкладку **Копіювання за одним вузлом**, встановіть прапорець *Вказати вузли копіювання*, мишкою вкажіть базовий вузол ферми та відповідний йому вузол схеми, куди має бути виконане копіювання об'єкту.

Для створення колон натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей* на стрічці. На вкладці **Генерація рами** задайте координату зміщення першого вузла $Z = -H - 1$ та побудуйте одну колону. Виконайте її копіювання за одним вузлом у відповідності з вимогами схеми.

Упакуйте схему, натиснувши на кнопку  *Упаковка схеми* на стрічці.

3. Задання граничних умов.

Виведіть на екран проекцію схеми на площину XOZ. Відзначте нижні вузли колон та закріпіть їх за всіма напрямками.

4. Призначення жорсткостей.

Натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку *Додати>>* та задайте жорсткості для колон, плити покриття ($E = 3e7$ кН/м², $R_0 = 25$ кН/м³) та елементів ферм. Призначте задані жорсткості відповідним елементам схеми. Для спрощення вибору елементів скористайтесь проекціями схеми на різні площини координат та кнопкою  *Фрагментація* на нижній панелі інструментів.

5. Задання навантажень.

Задайте три завантаження на схему згідно варіанту.

6. Виконання розрахунку задачі.

7. Візуалізація результатів розрахунку.

Для переходу в режим візуалізації результатів перейдіть на стрічку *Аналіз*. Виведіть на екран ізополя переміщень вздовж вертикальної осі та ізополя перерізуючих сил для плити перекриття і епюри крутних та згинаючих моментів в колонах. Для цього виділіть необхідні елементи схеми та натисніть кнопку  *Фрагментація* на нижній панелі інструментів.

Виконайте команду головного меню *Просторова модель (3D-графіка)*. Натисніть на кнопку  *Показати перерізи елементів* на стрічці.

3. Контрольні запитання.

1. Особливості створення моделей просторових конструкцій в ПК ЛПРА-САПР.
2. Задавання жорсткостей елементам схеми.
3. Фрагментація моделей.
4. Візуалізація результатів розрахунку.

5. Побудова просторових (3D) моделей розрахункової схеми.

Лабораторна робота № 11. Розрахунок рами на динамічні впливи

Мета роботи: ознайомитися з послідовністю задавання динамічних навантажень та формуванням розрахункових сполучень зусиль з врахуванням динаміки; провести розрахунок плоскої рами на пульсаційне вітрове та сейсмічне навантаження.

1. Завдання.

Раму до лабораторної роботи № 2 розрахуйте на пульсаційне вітрове та сейсмічне завантаження (табл. 11.1). Доповніть таблицю РСЗ динамічними навантаженнями. Створіть анімацію форм коливань для динамічних навантажень.

Таблиця 11.1 – Дані для розрахунку

Варіант	Вітровий район	Тип місцевості	Категорія ґрунту G	Відносне прискорення ґрунту a_0 (сейсмічність площадки S)
1, 4, 7, 10, 13	2	В	1	0,141g (7,5)
2, 5, 8, 11, 14	3	С	3	0,087g (6,8)
3, 6, 9, 12, 15	4	А	2	0,246g (8,3)

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

Відкрийте файл з результатами виконання лабораторної роботи № 2 та збережіть його під новим ім'ям «ЛР11».

2. Формування таблиці врахування статичних завантажень.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Врахування статичних навантажень*. У діалоговому вікні **Формування динамічних завантажень із статичних** задайте такі параметри:

- для пульсаційного вітрового навантаження:
 - № динамічного завантаження – 4;
 - № відповідного статичного завантаження – 1;
 - коефіцієнт перетворення – 1.

Далі натисніть кнопку  *Додати*. Повторіть збір навантажень для статичного завантаження № 2.

- для сейсмічного завантаження призначте № динамічного завантаження 5 та виконайте збір ваги мас на основі статичних завантажень № 1 і 2.

Збережіть таблицю за допомогою кнопки  *Підтвердити*.

3. Формування таблиці динамічних завантажень.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Таблиця динам. завантажень*. У діалоговому вікні **Задання характеристик для розрахунку на динамічні впливи** задайте характеристики:

- для пульсаційного вітрового навантаження:
 - № рядка характеристик – 1;
 - № завантаження – 4;
 - назва впливу – *Пульсаційне (21)*;
 - кількість форм коливань – 3;
 - № відповідного статичного завантаження – 3.

Далі натисніть на кнопку **Параметри** та задайте додаткові параметри згідно варіанту: вітровий район будівництва, розміри рами вздовж осей X та Y, тип місцевості, та признак орієнтації поверхні, що обдувається – 1 (вітер вздовж осі X). Натисніть кнопку  *Підтвердити*.

- для сейсмічного завантаження:
 - № рядка характеристик – 2;
 - № завантаження – 5;
 - назва впливу – *Сейсмічне (ДБН В.1.1-12:2006) (36)*;
 - кількість форм коливань – 6.

Далі натисніть на кнопку **Параметри** та задайте додаткові параметри згідно варіанту: категорію ґрунту, відносне прискорення ґрунту a_0 , напрямні косинуси ($CX = 1$). При необхідності проведіть перерахунок відносного прискорення, розрахувавши відповідний поправочний коефіцієнт для сейсмічних сил:

$$K = \frac{2^R}{2^S} \quad (12.1)$$

де R – необхідна сейсмічність майданчику, S – обрана сейсмічність згідно ДБН (6, 7, 8 або 9).

Натисніть кнопку  *Підтвердити*.

4. Генерація таблиці РСЗ.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Таблиця РСЗ*. У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення зусиль** виберіть норми для розрахунку ДБН В 1.2-2:2006 та задайте:

- для завантаження 1 виберіть зі списку вид завантаження *Постійне (0)*;
- для завантаження 2 – *Тривале (1)*;
- для завантаження 3 – *Неактивне (9)*;
- для завантаження 4 – *Миттєве (7)*;
- для завантаження 5 – *Сейсмічне (5)*.

Задавши номер і параметри кожного із завантажень, щоразу натискайте на кнопку  *Застосувати*. Закривається діалогове вікно натисканням на кнопку  *Підтвердити*.

5. Виконання розрахунку задачі.

6. Візуалізація результатів розрахунку.

Перейдіть в режим візуалізації результатів розрахунку та виведіть на екран для динамічних завантажень (№ 4, 5) форми власних коливань, натиснувши на кнопку  *Форми коливань*. Для перегляду анімації форм коливань виконайте команду головного меню *Просторова модель (3D-графіка)*. У вікні перегляду просторової моделі натисніть кнопку  *Показати анімацію коливань*.

Для виведення на екран таблиць періодів та форм власних коливань натисніть на стрічці *Аналіз* кнопку  *Інтерактивні таблиці* та згенеруйте таблиці частот та форм коливань.

3. Контрольні запитання.

1. Способи задавання ваги мас при створенні динамічних завантажень в ПК ЛІРА-САПР.

2. Формування таблиці обліку статичних завантажень.

3. Види динамічних впливів.

4. Формування таблиці динамічних завантажень.

5. Задання додаткових параметрів для розрахунку пульсаційного вітрового навантаження.

6. Задання додаткових параметрів для розрахунку сейсмічного навантаження.

7. Анімація власних коливань системи.

8. Власні частоти споруди.

Лабораторна робота № 12. Розрахунок та конструювання металевої вежі

Мета роботи: закріпити методику проектування металевих конструкцій; провести розрахунок та конструювання елементів металевої вежі з урахуванням пульсації вітру.

1. Завдання.

Створіть геометричну схему металевої вежі (рис. 12.1) та розрахуйте її на завантаження від власної ваги, обледеніння (q_o), робочого навантаження (q_p) та вітру з врахуванням пульсації (q_e) згідно з варіантом (табл. 12.1). Складіть таблицю РСЗ, що включають динамічні навантаження з врахуванням 6 форм власних коливань. Виконайте підбір перерізів елементів вежі з врахуванням їх уніфікації. Визначте навантаження на фундамент.

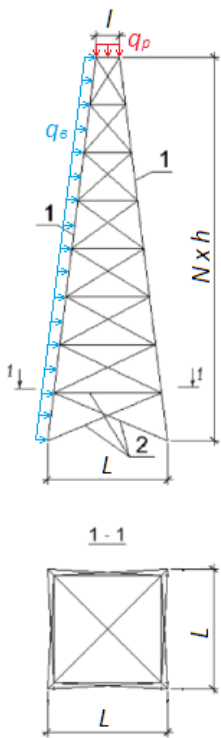


Рисунок 12.1 –
Схема вежі

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На головній панелі інструментів натисніть кнопку **Новий**. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР12» і ознаку схеми «4».

2. Створення геометричної схеми.

Натисніть на стрічці кнопку **Додати вузол** та задайте координати вузлів ($L/2$; $L/2$; 0) і ($l/2$; $l/2$; $N \times h$). У вікні **Додати вузол** перейдіть на вкладку **Розділити на N рівних частин**, встановіть прапорці *Вказати вузли курсором* та *З'єднати вузли стержнями*, задайте значення N і на схемі з'єднайте створені вузли, щоб побудувати стійку вежі.

Виділіть всі створені вузли та елементи і натисніть на стрічці кнопку **Копіювання**, перейдіть на вкладку **Копіювання симетрично**, встановіть радіо-кнопку YOZ та натисніть кнопку **Застосувати**.

Натисніть на стрічці кнопку **Додати елемент** і попарно з'єднайте на схемі вузли стійок, щоб створити розкоси вежі.

3. Задання граничних умов.

Виберіть нижні вузли стійок та забороніть для них переміщення вздовж осей X, Y, Z.

4. Задання жорсткісних параметрів елементів схеми.

Натисніть на стрічці кнопку **Жорсткості**. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку **Додати>>**, оберіть вкладку **База металевих перерізів** і виберіть тип перерізу відповідно до свого варіанту, задавши для нього найменший розмір перерізу. Призначте елементам схеми відповідні їм типи жорсткості.

5. Коректування схеми.

Виділіть всі створені вузли та елементи і натисніть на панелі інструментів кнопку **Копіювання**, перейдіть на вкладку **Копіювання поворотом**, встановіть радіо-кнопку Z, кут повороту 90° , кількість копій 3 та натисніть кнопку **Застосувати**.

Виконайте упаковку схеми.

Натисніть на панелі інструментів кнопку **Поліфільтр**, перейдіть на вкладку **Перерізи та відсікання**, встановіть довільну перерізуючу площину і вкажіть на схемі будь-які три вузли, що лежать на діагонально протилежних стійках та натисніть кнопку **Застосувати**. Елементи, що потрапляють в площину перерізу, будуть виділені на схемі. Використовуючи фрагментацію та

різні площини проєкцій, побудуйте внутрішні розкоси вежі та задайте їх жорсткість. Повторіть побудову для іншої пари стійок.

Таблиця 12.1 – Дані для розрахунку

Варі- ант	L, м	l, м	N x h, м	q _о , кН/м	q _в , кН/м	q _р , кН/м	Вітровий район	Переріз стійки	Переріз розкосів
1	5	1,0	8 x 2	2,5	1,0	2,5	2	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана
2	5	1,5	6 x 2	2,0	1,0	3,0	3	Кутник рівнополочний	Кутник рівнополочний
3	4	1,5	5 x 2	2,0	0,8	3,0	5	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана
4	4,5	1,0	6 x 2	2,5	0,6	2,0	4	Коробка зі швелерів	Кутник рівнополочний
5	4,5	1,0	7 x 2	2,0	1,0	2,5	3	Кутник рівнополочний	Кутник нерівнополочний
6	5	1,0	8 x 2	2,0	0,9	2,7	2	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана
7	5	1,5	6 x 2	2,5	1,0	2,8	3	Коробка зі швелерів	Труба безшовна гарячекатана
8	4	1,5	5 x 2	1,8	1,1	2,5	1	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана
9	4,5	1,0	6 x 2	2,3	0,7	2,0	4	Кутник рівнополочний	Кутник нерівнополочний
10	4,5	1,0	7 x 2	2,3	1,0	2,3	2	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана
11	5	1,0	8 x 2	2,0	0,9	2,5	3	Коробка зі швелерів	Труба безшовна гарячекатана
12	5	1,5	6 x 2	1,8	1,0	3,0	2	Кутник рівнополочний	Кутник рівнополочний
13	4	1,5	5 x 2	2,0	0,8	2,7	4	Труба безшовна гарячекатана	Труба безшовна гарячекатана
14	4,5	1,0	6 x 2	2,5	0,6	2,3	5	Коробка зі швелерів	Труба безшовна гарячекатана
15	4,5	1,0	7 x 2	2,0	1,1	2,5	3	Кутник рівнополочний	Кутник нерівнополочний

6. Задання навантажень.

Задайте статичні завантаження на елементи схеми згідно варіанту. На їх основі створіть динамічне завантаження для пульсації вітру, натиснувши на стрічці *Розрахунок* кнопку  *Врахування статичних навантажень* та  *Таблиця динам. завантажень*.

7. Генерація таблиці РСЗ.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Таблиця РСЗ*. У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення зусиль** виберіть норми для розрахунку ДБН В 1.2-2:2006 та задайте:

- для завантаження від власної ваги та робочого виберіть зі списку вид завантаження *Постійне (0)*;
- для завантаження від обледеніння – *Короткочасне (2)*;
- для статичного вітрового завантаження – *Неактивне (9)*;
- для динамічного вітрового завантаження – *Миттєве (7)*.

8. Задання додаткових характеристик для розрахунку.

Натисніть на кнопку  *Жорсткості* на стрічці. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** відзначте прапорець *Матеріал* та виберіть норми для проектування – *ДБН В.2.6-198:2014*, встановіть розрахунок перерізів по РСЗ. Перейдіть на вкладку *Сталь* внизу діалогового вікна **Жорсткості та матеріали**, позначте радіо-кнопку *Матеріал* і натисніть на кнопку *Додати*. На екран виводиться діалогове вікно **Параметри**, у якому задайте марку сталі для перерізу. Для додаткових характеристик встановіть радіо-кнопку *Фермовий* та задайте інші параметри: вкажіть, до якого елемента ферми відноситься дана жорсткість (пояс, неопорний розкіс чи інше) та задайте коефіцієнти розрахункової довжини відносно осей Z1 і Y1 рівними 1.

9. Створення груп уніфікації.

Виберіть всі елементи стійок вежі. Для цього натисніть на панелі інструментів кнопку  *Поліфільтр*, перейдіть на вкладку **Фільтр для елементів**, відзначте прапорець *За жорсткістю* та виберіть тип жорсткості для стійок, натисніть на кнопку  *Застосувати*. На стрічці натисніть кнопку  *Уніфікація елементів*, встановіть тип уніфікації – *Єдиний переріз для всієї групи*, та натисніть кнопку  *Створити*.

10. Виконання розрахунку задачі.

11. Візуалізація результатів розрахунку.

Для динамічного завантаження виведіть на екран значення сил інерції за допомогою відповідних кнопок на стрічці *Розширений аналіз*. Виведіть сумарні прискорення вузлів за допомогою кнопки  *Мозаїка прискорень a* на стрічці *Результати*.

Для визначення навантаження на фундамент виділіть нижній вузол стійки та натисніть кнопку  *Розрахувати навантаження на фрагмент* на стрічці *Розширений аналіз*. Виведіть результати на екран, натиснувши кнопки ΣP_x , ΣP_y , ΣP_z .

3. Контрольні запитання.

1. Основні етапи проектування металевих конструкцій в ПК ЛПРА-САПР.

2. Прийоми побудови геометричної схеми просторових конструкцій.
3. Задання динамічних навантажень на елементи схеми.
4. Уніфікація елементів.
5. Візуалізація результатів розрахунку.
6. Розрахунок навантажень на фрагмент схеми.

Лабораторна робота № 13. Нелінійний розрахунок двопролітної балки з урахуванням повзучості бетону

Мета роботи: освоїти методику задання характеристик фізичної нелінійності матеріалів з урахуванням повзучості бетону; провести моделювання нелінійних завантажень двопролітної балки.

1. Завдання.

Створити схему двопролітної балки (рис. 13.1) та розрахувати її на завантаження від власної ваги та корисне навантаження (q_1, q_2, q_3) згідно варіанту (табл. 13.1). Задайте характеристики фізичної нелінійності бетону та сформууйте таблицю моделювання нелінійних завантажень. Проаналізуйте стан розрахункової схеми після 365 та 730 днів експлуатації.

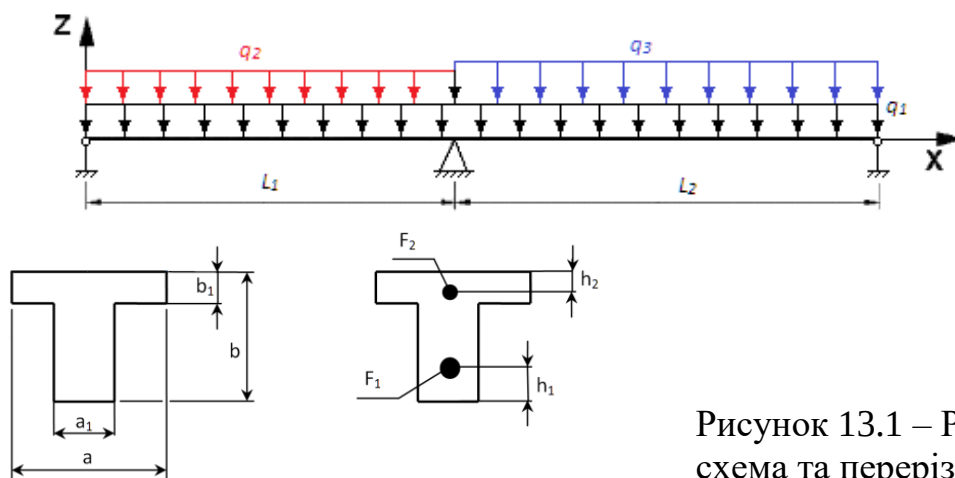


Рисунок 13.1 – Розрахункова схема та переріз балки

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На головній панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР13» і ознаку схеми «2».

Таблиця 13.1 – Дані для розрахунку

Вар.	L_1 , м	L_2 , м	a , см	a_1 , см	b , см	b_1 , см	F_1 , см ²	h_1 , см	F_2 , см ²	h_2 , см	q_1 , кН/м	q_2 , кН/м	q_3 , кН/м	Клас бетону	Тип бетону
1	5,4	6,2	70	30	60	20	6,0	6	1,5	6	3	9,0	8,7	B15	НА
2	5,0	6,0	60	20	60	25	8,0	5	2,0	7	4	8,5	9,0	B25	НВ
3	6,2	5,4	60	30	50	20	7,5	4	2,5	5	3,5	7,5	8,0	B30	НС

4	4,8	6,2	70	20	60	25	7,0	5	3,0	6	3	8,7	7,8	B20	МА
5	5,6	4,8	60	20	50	20	6,5	4	1,5	4	3,25	8,2	9,0	B35	МВ
6	5,8	5,0	70	30	55	25	7,5	4,5	3,0	6	4	7,5	7,8	B25	МС
7	6,0	5,2	70	20	60	20	8,5	7	2,0	5	3,75	7,0	8,0	B20	НА
8	5,2	5,4	60	20	55	20	8,0	6	2,5	5	3,5	7,2	8,2	B30	НС
9	4,8	5,6	70	25	65	25	9,0	8	3,0	7	3	9,0	8,5	B55	НВ
10	6,0	4,8	60	30	65	20	7,5	7	2,8	6	3,25	7,8	8,7	B40	МВТ
11	5,6	5,4	60	25	50	20	7,2	4	2,3	4	3,5	8,2	8,0	B25	НС
12	5,0	5,0	70	30	60	25	6,8	5	2,5	5	3	8,5	8,0	B35	МА
13	5,4	5,6	60	20	55	20	6,5	4,5	1,8	6	3,25	8,2	7,8	B20	МС
14	5,8	6,0	70	20	60	25	7,0	5	2,8	7	4	8,0	7,0	B30	НВ
15	5,2	5,6	70	25	60	20	6,8	6	3,0	5	3,75	8,5	8,0	B40	НС

2. Створення геометричної схеми балки.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей*. На вкладці **Генерація рами** задайте крок скінченних елементів та кількість кроків вздовж горизонтальної осі, розбивши кожен проліт балки на чотири скінченних елементи рівної довжини. Натисніть кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

3. Задання граничних умов.

Для центральної опори забороніть переміщення вздовж осей X, Z, для бокових – вздовж Z.

4. Зміна типу скінченних елементів.

Виділіть всі елементи схеми та натисніть на стрічці *Розширене редагування* кнопку  *Зміна типу КЕ*. Виберіть зі списку тип 210 – *Фізично нелінійний універсальний просторовий стержневий КЕ* та натисніть кнопку  *Застосувати*.

5. Задання параметрів жорсткості елементів схеми з врахуванням нелінійності.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку *Додати>>*, оберіть вкладку *Стандартні типи перерізів* і виберіть тип перерізу *Тавр_T*, задайте його розміри та густину $R_0 = 27 \text{ кН/м}^3$. Встановіть прапорець *Врахування нелінійності* та натисніть кнопку **Параметри матеріалу**.

У діалоговому вікні **Закони нелінійного деформування матеріалів** виберіть тип закону 25 – *експоненціальний* та задайте клас і тип бетону. Встановіть прапорці *Враховувати армуючий матеріал* та *Враховувати повзучість бетону*. Перейдіть на вкладку *Армуючий матеріал*, виберіть тип закону нелінійного деформування 11 – *експоненціальний* та задайте наступні параметри:

- модуль пружності $E_0(-) = 2e8 \text{ кН/м}^2$; $E_0(+) = 2e8 \text{ кН/м}^2$;

- граничне напруження $\sigma(-) = -3e5 \text{ кН/м}^2$; $\sigma(+) = 3e5 \text{ кН/м}^2$.

Перейдіть на вкладку *Повзучість бетону*, виберіть тип закону повзучості 41 – *степеневий* та задайте його параметри:

- теоретичний коефіцієнт повзучості $\varphi_o = 2$;
- коефіцієнт $\beta H = 657.82$.

Для введення даних натисніть кнопку **Підтвердити**.

В діалоговому вікні **Задання стандартного перерізу** натисніть кнопку **Параметри арматури**. Задайте тип арматурних включень *Точкова арматура* та введіть координати і площі перерізу шарів арматури. Задайте тип дроблення перерізу – *Дроблення на елементарні смуги* та їх кількість і натисніть кнопку **Підтвердити**.

Призначте елементам схеми створений тип жорсткості з врахуванням нелінійності.

6. Задання навантажень.

Задайте 4 статичні завантаження на елементи схеми згідно варіанту.

7. Моделювання нелінійних завантажень.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Крокова нелінійність*. Задайте дві послідовності історії навантаження балки: власна вага, q_1, q_2 та власна вага, q_1, q_3 . Для цього натисніть кнопку  *Додати* та задайте параметри першого завантаження історії навантажень – номер статичного завантаження схеми, метод розрахунку – *(1) Простий кроковий*, кількість рівномірних кроків розрахунку – 5, мінімальна кількість ітерацій – 300. Для задання другого та третього завантаження історії натисніть кнопку  *Додати* та задайте їх параметри аналогічно, встановивши 30 рівномірних кроків. В дереві історії навантаження виберіть історію навантажень <<1>> та в полі *Повзучість* задайте період часу в днях, після якого буде враховуватися вплив повзучості бетону на характер деформацій, розділивши їх значення пробілом.

Для створення історії навантаження для другого прольоту балки в дереві історії навантаження виберіть історію навантажень <<1>> та натисніть кнопку  *Додати*. Додайте до нової історії статичні завантаження, встановивши їх параметри аналогічно до історії <<1>>. Натисніть кнопку  *Підтвердити*.

8. Виконання розрахунку задачі.

9. Візуалізація та аналіз результатів розрахунку.

Перейдіть на стрічку *Аналіз* та виведіть епюри сил і моментів у балці **Q_z** **M_x**. На стрічці *Розширений аналіз* натисніть кнопку  *Тріщини в стержнях* та виведіть глибину і ширину розкриття тріщин. Для оцінки впливу повзучості змініть номер періоду завантаження.

3. Контрольні запитання.

1. Фізична нелінійність матеріалу.
2. Повзучість бетону.
3. Задання фізичної нелінійності в ПК ЛІРА-САПР.
4. Основні закони деформування матеріалу.
5. Задання армування залізобетонних елементів. Фізична нелінійність арматури.
6. Моделювання нелінійних навантажень. Історія навантаження схеми.
7. Крокова процедура розрахунку.
8. Аналіз результатів нелінійного розрахунку.

Лабораторна робота № 14. Розрахунок залізобетонної рами у фізично нелінійній постановці

Мета роботи: ознайомитися з методами керування кроковим процесором ПК ЛІРА-САПР; провести моделювання залізобетонної рами у фізично нелінійній постановці.

1. Завдання.

Використовуючи результати виконання лабораторних робіт № 2 і № 6, виконати розрахунок рами у фізично нелінійній постановці.

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

Відкрийте файл з результатами виконання лабораторної роботи № 2 та збережіть його під новим ім'ям «ЛР14».

2. Зміна типу скінченних елементів.

Виділіть всі елементи схеми та натисніть на стрічці *Розширене редагування* кнопку  *Зміна типу КЕ*. Виберіть зі списку тип 210 – *Фізично нелінійний універсальний просторовий стержневий КЕ* та натисніть кнопку  *Застосувати*.

3. Задання жорсткісних параметрів елементів схеми з врахуванням нелінійності.

Натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** виберіть зі списку тип жорсткості для балок і колон та натисніть кнопку **Змінити**. Встановіть прапорець *Врахування нелінійності* та натисніть кнопку **Параметри матеріалу**.

У діалоговому вікні **Закони нелінійного деформування матеріалів** виберіть тип закону 25 – *експоненціальний* та задайте клас і тип бетону (В25, МА). Встановіть прапорець *Враховувати армуючий матеріал*. Перейдіть на вкладку *Армуючий матеріал*, виберіть тип закону нелінійного деформування 11 – *експоненціальний* та задайте наступні параметри:

- модуль пружності $E_0(-) = 2.1e8 \text{ кН/м}^2$; $E_0(+) = 2.1e8 \text{ кН/м}^2$;
- граничне напруження $\sigma(-) = -2.85e5 \text{ кН/м}^2$; $\sigma(+) = 2.85e5 \text{ кН/м}^2$.

Для введення даних натисніть кнопку **Підтвердити**.

В діалоговому вікні **Задання стандартного перерізу** натисніть кнопку **Параметри арматури**. Задайте тип арматурних включень *Точкова арматура* та введіть координати і площі перерізу шарів арматури згідно результатів виконання лабораторної роботи № 7. Задайте тип дроблення перерізу – *Дроблення на елементарні смуги* та їх кількість (5–10) і натисніть кнопку **Підтвердити**.

Після присвоєння типам жорсткості параметрів фізичної нелінійності біля їх номеру в списку з'являється зірочка. Призначте нелінійні типи жорсткості відповідним елементам схеми.

4. Моделювання нелінійних завантажень.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Крокова нелінійність*. Задайте послідовність історії навантаження схеми, в яку включіть всі три завантаження. Для цього натисніть кнопку  *Додати* та задайте параметри першого завантаження історії навантажень – номер статичного завантаження схеми, метод розрахунку – (1) *Простий кроковий*, мінімальна кількість ітерацій – 300, кількість кроків розрахунку – 7 і введіть через пробіл значення кроків *0.3 0.2 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1*, задайте вивід у звіт переміщення та навантаження після кожного кроку. Для задання другого та третього завантаження історії натисніть кнопку  *Додати* та задайте їх параметри аналогічно, встановивши 8 рівномірних кроків. Збережіть дані, натиснувши кнопку  *Підтвердити*.

5. Виконання розрахунку задачі.

6. Візуалізація результатів розрахунку.

Виведіть епюри сил та моментів у елементах схеми. Натисніть на кнопку  *Інформація про вузол або елемент*, вкажіть на схемі балку рами та виведіть на екран її епюри сил, моментів і прогинів, встановивши прапорець *Епюри*, та дані про утворення тріщин, встановивши прапорець *Тріщини*.

Перейдіть на стрічку розширений аналіз, натисніть кнопку  *Тріщини в стержнях* та виведіть на екран глибину та ширину розкриття тріщин.

3. Контрольні запитання.

1. Фізична нелінійність матеріалу.
2. Параметри фізичної нелінійності та їх задання в ПК ЛПРА-САПР.
3. Основні закони деформування матеріалу.
4. Задання армування залізобетонних елементів. Фізична нелінійність арматури.
5. Моделювання нелінійних завантажень.
6. Крокова процедура розрахунку.

7. Керування кроковим процесором ПК ЛІРА-САПР.
8. Визначення стану матеріалу після нелінійного розрахунку.

Лабораторна робота № 15. Розрахунок вантової ферми

Мета роботи: ознайомитися з методикою задання геометричної нелінійності елементів; провести моделювання вантової ферми у геометрично нелінійній постановці.

1. Завдання.

Виконати розрахунок попередньо напруженої вантової ферми, що працює під навантаженням як геометрично нелінійна конструкція згідно варіанту (табл. 15.1). Верхній та нижній пояси ферми виконані з гнучких сталевих канатів діаметром D . Натяг ферми створюється форкопфом (домкратом), його натяжний болт має діаметр D , довжина 0,5 м. Розрахунок виконати на три завантаження – власна вага, попередній натяг F , вертикальне навантаження P_1, P_2 .

Таблиця 15.1 – Дані для розрахунку

Варіант	Схема	l, м	h, м	P_1 , кН	P_2 , кН	D, мм	F, кН	Профіль розкосів
1		3	1	20	40	19	600	Швеллер 10П
2		2	0,75	15	30	20	500	Кутник 60х60х10
3		2,5	1	20	30	18	550	Кутник 56х36х5
4		3	1	20	35	22	550	Кутник 50х50х6
5		2	0,75	15	25	15	450	Труба безшовна 45х8
6		2,5	1	20	30	18	600	Швеллер 8П
7		3	1	20	35	20	700	Труба безшовна 50х7,5
8		2	0,75	15	25	16	500	Кутник 45х45х5
9		2,5	1	20	30	17	600	Кутник 56х36х5
10		3	2	20	40	22	700	Швеллер 12П
11		2	1	15	30	17	550	Труба безшовна 42х5
12		2,5	1,5	25	35	19	600	Кутник 65х50х5
13		3	2	20	40	21	700	Кутник 56х56х5
14		2	1,5	15	30	18	600	Труба безшовна 45х5
15		2,5	2	25	35	20	650	Швеллер 8П

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На панелі інструментів натисніть кнопку Новий. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР15» і ознаку схеми «2».

2. Створення геометричної схеми вантової ферми.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть кнопку  *Генерація регулярних фрагментів та сітей*. На вкладці **Генерація прямокутної сітки** задайте площину XOZ, крок точок допоміжної сітки та кількість потрібних кроків вздовж горизонтальної і вертикальної осі. Натисніть кнопку  *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

На стрічці натисніть кнопку  *Додати елемент*, перейдіть на вкладку **Додати стержень** та вкажіть курсором вузли допоміжної сітки, між якими потрібно створити стержневі елементи. Проведіть упаковку схеми.

На нижній панелі інструментів натисніть кнопку  *Інформація про вузол або елемент* та вкажіть один з розкосів ферми. У діалоговому вікні **Стержень** перейдіть на вкладку  *Шарніри* та встановіть прапорці для потрібного вузла стержня, створивши шарнір відносно UY з нульовою жорсткістю. Натисніть кнопку  *Застосувати*. Повторіть операцію для решти розкосів ферми.

Скопіюйте правий вузол ферми та додайте стержень, що моделює форкопф.

3. Задання граничних умов.

4. Зміна типу скінчених елементів.

Виділіть на схемі елемент, що моделює форкопф та натисніть на стрічці *Розширене редагування* кнопку  *Зміна типу KE*. Виберіть зі списку тип 308 – *Геометрично нелінійний спеціальний двовузловий KE для моделювання попереднього натягу* та натисніть кнопку  *Застосувати*.

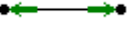
Виділіть верхній та нижній пояс вантової ферми і змініть тип SE на 310 – *Геометрично нелінійний універсальний просторовий стержневий KE (нитка)*.

5. Задання жорсткісних параметрів елементів схеми.

На стрічці натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку *Додати>>*, перейдіть на вкладку *База металевих перерізів* та задайте тип жорсткості для розкосів ферми і форкопфа (круг діаметром D). Перейдіть на вкладку *Чисельні* та задайте тип перерізу *KE 310 (нитка)*, вкажіть спосіб задання – *Кругле* і задайте для неї наступні параметри: $E = 2.1e8$ кН/м²; D – згідно варіанту; $d = 0$; $R_o = 78.5$ кН/м².

Призначте створені типи жорсткості відповідним елементам схеми.

6. Задання навантажень.

Задайте 3 завантаження на елементи схеми – власну вагу, натяг форкопфа () та зосереджене у вузлах навантаження P_1 , P_2 .

7. Моделювання нелінійних завантажень.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Крокова нелінійність*. Задайте послідовність історії навантаження схеми, в яку включіть всі три завантаження. Для цього натисніть кнопку  *Додати* та задайте параметри першого завантаження історії навантажень – номер статичного завантаження схеми, метод розрахунку – (4) *Автоматичний вибір кроку для фізично і геометрично нелінійних задач*,

мінімальна кількість ітерацій – 300. Для другого та третього завантаження історії натисніть кнопку  *Додати* та задайте їх параметри аналогічно.

Збережіть дані, натиснувши кнопку  *Застосувати*.

8. Виконання розрахунку задачі.

9. Візуалізація результатів розрахунку.

Виведіть на екран мозаїки переміщень вузлів та епюри сил у елементах схеми. На стрічці *Аналіз* натисніть на кнопку  *Документація* та виведіть таблицю переміщень вузлів схеми.

3. Контрольні запитання.

1. Геометрична нелінійність.
2. Параметри геометричної нелінійності та їх задання в ПК ЛІРА-САПР.
3. Шарніри та їх задання в ПК ЛІРА-САПР.
4. Моделювання нелінійних завантажень.
5. Крокова процедура розрахунку.
6. Моделювання попереднього натягу вантових конструкцій.

Лабораторна робота № 16. Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, що працюють спільно з основою

Мета роботи: ознайомитися з методами розрахунку конструкцій, що працюють спільно з основою; виконати два варіанти розрахунку плити на пружній основі та порівняти одержані результати.

1. Завдання.

Виконати розрахунок плити на пружній основі, використовуючи дані лабораторної роботи № 7.

2. Порядок виконання завдання.

А. Плита на пружній основі, що характеризується одним коефіцієнтом постелі.

1. Створення нової задачі.

Відкрийте файл з результатами виконання лабораторної роботи № 7 та збережіть його під новим ім'ям «ЛР16-1».

2. Задання граничних умов.

Виділіть всі вузли розрахункової схеми, натисніть на стрічці кнопку  *В'язі* та видаліть всі зв'язки.

3. Призначення характеристик пружної основи.

Виділіть усі елементи схеми і на стрічці натисніть кнопку  *Коефіцієнти постелі C1, C2*. У діалоговому вікні **Задання коеф. C1 та C2** відзначте тип

елементів *Пластини*, задайте значення $CIz = 10000 \text{ кН/м}^3$ та натисніть кнопку  *Застосувати*.

4. Виконання розрахунку задачі.

5. Візуалізація результатів розрахунку.

Виведіть на екран ізополя переміщень та напружень в елементах плити.

Б. Плита на пружній основі із зв'язками скінченної жорсткості.

6. Створення нової задачі.

Відкрийте файл з результатами виконання лабораторної роботи № 7 та збережіть його під новим ім'ям «ЛР16-2».

7. Задання граничних умов – аналогічно пункту 2.

8. Призначення зв'язків скінченної жорсткості.

Виділіть усі вузли схеми і натисніть на стрічці кнопку  *Додати елемент*. Перейдіть на вкладку **Додати одновузлові КЕ** і виберіть тип СЕ «51» та натисніть кнопку  *Застосувати*.

На стрічці натисніть на кнопку  *Жорсткості*. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку **Додати>>**, перейдіть на вкладку числового описання жорсткості, виберіть «*КЕ 51 чисельне*». У діалоговому вікні **Чисельний опис для КЕ 51** задайте параметри $R = 2500 \text{ кН/м}$, орієнтація зв'язку – Z і натисніть кнопку  *Підтвердити*.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** у списку жорсткостей виділіть рядок «2. *КЕ 51 чисельне*» і двічі натисніть кнопку **Копіювати**. У списку жорсткостей виділіть рядок «3. *КЕ 51 чисельне*» і натисніть кнопку **Змінити**, задайте $R = 1250 \text{ кН/м}$. Аналогічно для типу жорсткості «4. *КЕ 51 чисельне*» задайте $R = 625 \text{ кН/м}$.

Виділіть на схемі одновузлові СЕ, що містяться у вузлах примикання чотирьох елементів плити і призначте їм тип жорсткості з $R = 2500 \text{ кН/м}$. Аналогічно для СЕ, що містяться у вузлах примикання двох елементів плити задайте тип жорсткості з $R = 1250 \text{ кН/м}$, а для СЕ, що лежать на кутах плити – з $R = 625 \text{ кН/м}$. Для зручного виділення окремих СЕ на нижній панелі інструментів натисніть кнопку  *Полігональна відмітка* і намалюйте полігон навколо елементів, які потрібно виділити.

9. Виконання розрахунку задачі.

10. Візуалізація результатів розрахунку.

Виведіть на екран ізополя переміщень та напружень в елементах плити. Порівняйте отримані результати з результатами при розрахунку з використанням коефіцієнтів постелі.

3. Контрольні запитання.

1. Особливості моделювання конструкцій, що працюють спільно з пружною основою.
2. Механічні властивості моделей Вінклера і Пастернака.
3. Задавання коефіцієнтів постелі елементам розрахункової схеми.
4. Реалізація моделі Вінклера за допомогою елементів скінченної жорсткості.
5. Задання параметрів елементам скінченної жорсткості.

Лабораторна робота № 17. Розрахунок конструкцій на ґрунтовій основі з використанням системи ГРУНТ

Мета роботи: ознайомитися з методикою створення моделі ґрунтової основи в системі ГРУНТ; провести розрахунок просторової конструкції на багат шаровій ґрунтовій основі з визначенням коефіцієнтів постелі.

1. Завдання.

Виконати розрахунок залізобетонної конструкції висотою прольоту H з розмірами в осях колон $L_x \times L_y$ (рис. 17.1) згідно варіанту (табл. 17.1). Розрахунок виконати на три завантаження – власна вага, вертикальне навантаження P , q_1 (на фундаментну плиту), q_2 (на плиту перекриття) та горизонтальне навантаження F . Переріз колон – прямокутний 80×40 см, товщина фундаментної плити δ_1 , плити перекриття – δ_2 . Крок сітки СЕ для плит – 0,2 м.

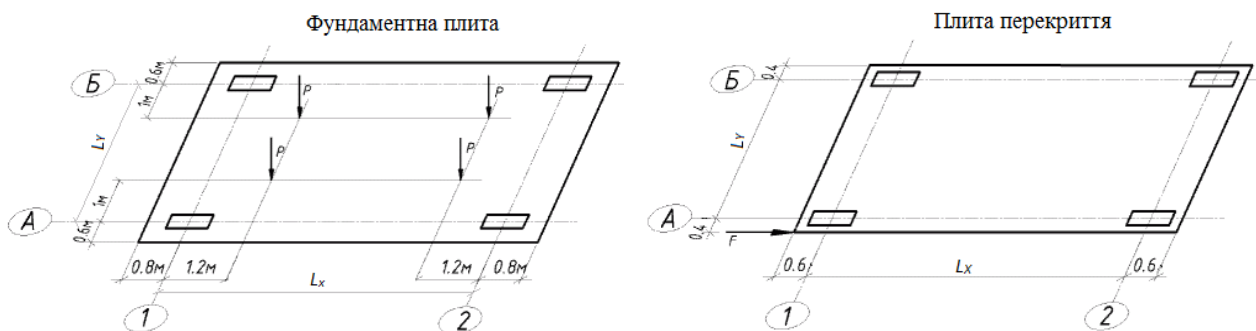


Рисунок 17.1 – Схема навантаження та розміри конструкції

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На головній панелі інструментів натисніть кнопку *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР17» і ознаку схеми «5».

2. Створення геометричної схеми конструкції.

На стрічці *Створення та редагування* натисніть кнопку *Генерація регулярних фрагментів та сітей*. На вкладці *Генерація плити* задайте крок СЕ та потрібну кількість СЕ вздовж вертикальної і горизонтальної осей для фундаментної плити. Натисніть кнопку *Застосувати*. Задайте координати для

першого вузла плити перекриття (0,2; 0,2; Н), крок СЕ та потрібну кількість СЕ вздовж вертикальної і горизонтальної осей для плити перекриття. Натисніть кнопку *Застосувати* і закрийте діалогове вікно.

На стрічці натисніть кнопку *Додати елемент*, перейдіть на вкладку *Додати стержень* та додайте до схеми елементи колон.

3. Створення абсолютно жорстких тіл.

На стрічці натисніть кнопку *Абсолютно жорстке тіло*. На схемі виділіть вузли, які відповідають контуру перерізу однієї колони в площині фундаментної плити, далі в діалоговому вікні **Абсолютно жорсткі тіла** натисніть кнопку *Додати*, встановіть прапорець *Вказати ведучий вузол курсором* та вкажіть на схемі центральний вузол перерізу колони. Натисніть кнопку *Застосувати*. Вузли, що входять в склад абсолютно жорстких тіл, виділяються на схемі оранжевим кольором. Повторіть створення абсолютно жорстких тіл для всіх колон в площині плити перекриття і фундаментної плити. Для зручності виділення вузлів використовуйте фрагментацію схеми, її масштабування та проекції на координатні площини. Проведіть упаковку схеми.

4. Задання граничних умов.

Виберіть всі вузли фундаментної плити, крім тих і задайте для них зв'язки, заборонивши переміщення вздовж осей X, Y.

Таблиця 17.1 – Дані для розрахунку

Варіант	L _x , м	L _y , м	H, м	δ ₁ , см	δ ₂ , см	P, кН	F, кН	q ₁ , кН/м ²	q ₂ , кН/м ²	P _z , кН/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6,0	4,0	3,0	50	15	1000	20	10	5	120
2	5,0	4,5	2,7	45	10	800	30	15	3	140
3	5,5	4,5	2,8	45	12	750	25	13	5	130
4	7,0	5,0	3,0	60	15	850	15	7	3	120
5	6,5	4,5	3,0	50	15	800	15	8	5	100
6	5,0	4,0	2,7	40	10	900	25	15	7	120
7	5,5	4,0	2,8	45	10	1000	25	13	5	140
8	6,0	4,5	3,0	50	12	850	20	8	3	130
9	7,0	5,0	2,9	60	15	750	15	7	3	110
10	6,5	5,0	3,0	60	12	800	20	9	5	120
11	6,0	5,0	2,8	55	10	800	25	9	7	100
12	5,0	4,5	2,8	45	10	900	30	12	5	140

Закінчення таблиці 17.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	5,5	4,0	3,0	45	12	850	30	12	7	130
14	6,5	4,5	3,0	60	15	1000	25	10	3	120
15	6,0	4,0	2,8	45	12	850	20	10	5	110

5. Задання жорсткісних параметрів елементів схеми.

На стрічці натисніть на кнопку  **Жорсткості**. У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку **Додати>>**, перейдіть на вкладку *Стандартні типи перерізів* та задайте тип перерізу для колон – *Брус*, параметри $E = 3 \times 10^7$ кН/м², $R_o = 27,5$ кН/м³, розміри згідно варіанту. Перейдіть на вкладку чисельного задання жорсткості і виберіть тип *Пластини*, задайте параметри $E = 3 \times 10^7$ кН/м², $\nu = 0,2$, $R_o = 27,5$ кН/м³ та товщину для фундаментної плити згідно варіанту. Повторіть створення типу жорсткості для плити перекриття.

Призначте створені типи жорсткості відповідним елементам схеми.

6. Створення моделі ґрунту.

Виберіть на схемі елементи фундаментної плити та натисніть на стрічці кнопку  **Коефіцієнти постели С1, С2**. У діалоговому вікні **Задання коеф. С1 та С2** встановіть прапорець *Пластини*, натисніть радіо-кнопку *Отримати по моделі ґрунту* і задайте значення рівномірно розподіленого навантаження на плиту P_z . Натисніть кнопку  **Застосувати**.

У діалоговому вікні **Задання коеф. С1 та С2** натисніть кнопку **Модель ґрунту**. В діалоговому вікні **Модель ґрунту** задайте коефіцієнт глибини товщі, що стискається 0,2, метод розрахунку коефіцієнтів постелі – *Метод 3* (модифікована модель Пастернака), нормативний документ – ДБН В.2.1-10:2009 та натисніть кнопку **Підключити модель ґрунту**. Створіть новий порожній файл моделі ґрунту з розширенням *.sld. Натисніть кнопку  **Застосувати**.

Відкриється нове вікно з моделлю ґрунту. На панелі інструментів натисніть кнопку  **Редагування сітей** і задайте параметри сітки – перша точка $X = -1$ м, $Y = -1$ м; величина кроку – 1 м; кількість кроків вздовж осі $X = 20$, $Y = 15$. Натисніть кнопку  **Застосувати**.

На панелі інструментів натисніть кнопку  **Редагування свердловин** та задайте параметри трьох свердловин:

- 1) координати $X = 0.8 L_x$, $Y = 2 L_y$; номер шару та глибина його залягання: № 1 – $0.5 L_x$, № 2 – L_x , № 5 – 15 м;
- 2) $X = 1.5 L_x$, $Y = 0.75 L_y$; шар № 1 – $0.25 L_x$, № 2 – $1.3 L_x$, № 5 – 15 м;
- 3) $X = 0.5 L_x$, $Y = 0.5 L_y$; шар : № 1 – $0.3 L_x$, № 2 – $1.1 L_x$, № 5 – 15 м.

Після кожного кроку натискайте кнопку  **Відобразити зміни в таблиці**. Повторіть введення даних для всіх свердловин та натисніть кнопку  **Застосувати**.

Для задання навантажень на ґрунт від інших споруд натисніть на кнопку  **Редагування навантажень** і в діалоговому вікні **Навантаження** задайте параметри – точка прив'язки $X = 13$ м, $Y = 9$ м; $dX = 4$ м, $dY = 5$ м; навантаження 200 кН/м²; абсолютна відмітка – 97 м (рівень поверхні ґрунту в моделі приймається на відмітці 100 м). Натисніть кнопку  **Застосувати**.

Для імпорту навантажень з основної схеми ЛПРА-САПР натисніть на кнопку  *Редагування імпортованих навантажень*, задайте абсолютну відмітку навантаження 96 м та натисніть кнопку  *Застосувати*.

Збережіть файл з створеною моделлю ґрунту та поверніться в основну схему.

7. Задання навантажень.

Задайте 3 завантаження на схему згідно варіанту: навантаження від власної ваги на всі елементи схеми; вертикальне навантаження P , q_1 , q_2 ; горизонтальне навантаження F .

8. Виконання розрахунку задачі.

На стрічці *Розрахунок* тисніть кнопку  *Виконати розрахунок* та погодьтеся з перерахунком коефіцієнтів постелі згідно зв'язаної моделі ґрунту.

9. Візуалізація результатів розрахунку.

Виведіть на екран ізополя переміщень вузлів відносно вертикальної осі; ізополя напружень в елементах плити перекриття; епюри сил та моментів для однієї з колон ( *Інформація про вузол або елемент*). Виберіть на схемі всі елементи фундаментної плити і натисніть кнопку  *Інтерактивні таблиці* та виведіть для них таблицю з параметрами ґрунту. На стрічці *Розширений аналіз* виведіть  *Ізополя $C1$, $C2$, Pz* для елементів фундаментної плити.

10. Результати розрахунку в системі ГРУНТ.

Відкрийте модель ґрунту. На панелі інструментів натисніть на кнопку  *Свердловина в довільній точці* та задайте довільну точку на плані для виводу екстрапольованої моделі шарів ґрунту для даної точки. Натисніть на кнопку  *Довільний переріз* та вкажіть довільний переріз на плані для виводу моделі шарів ґрунту. Перейдіть на вкладки *Осадка*, C_1 , C_2 , H_c моделі для виводу відповідних ізополів. Виконайте команду меню *Вікно=>Дизайнер таблиць=>Сформувати таблиці* для створення та експорту таблиць свердловин і характеристик типів ґрунту.

3. Контрольні запитання.

1. Створення елементів пластин та задання їх жорсткості.
2. Створення абсолютно жорстких тіл.
3. Підключення моделі ґрунту до розрахункової схеми.
4. Послідовність створення та розрахунку моделі ґрунту.
5. Аналіз результатів розрахунку моделі ґрунту.
6. Основні моделі пружної основи.

Лабораторна робота № 18. Розрахунок рами промислової будівлі

Мета роботи: закріпити методи створення та розрахунку конструкцій в ПК ЛІРА-САПР; провести розрахунок рами промислової будівлі на пружній основі та підбір перерізів металевих і залізобетонних елементів.

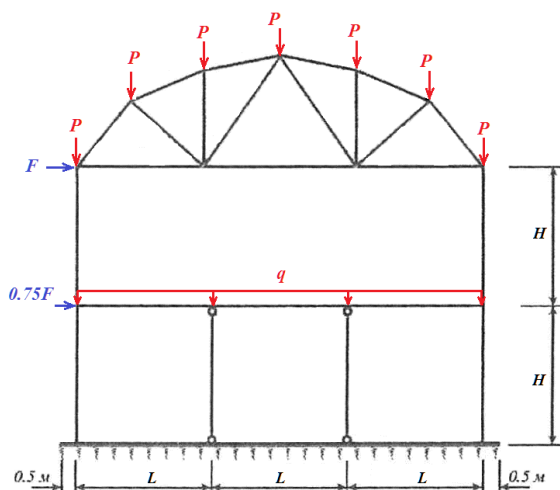


Рисунок 18.1 – Схема навантаження та розміри конструкції

1. Завдання.

Виконати розрахунок плоскої рами на пружній основі (рис. 18.1) за РСН та провести перевірку стійкості елементів конструкції. Провести розрахунок та конструювання залізобетонних і металевих перерізів елементів згідно варіанту (табл. 18.1).

Розрахунок виконати на такі завантаження: 1 – власна вага; 2 – навантаження від обладнання; 3 – вітрове; 4 – гармонійне динамічне; 5 – сейсмічне. Профіль ростверку – Тавр-L.

Таблиця 18.1 – Дані для розрахунку

Варіант	L, м	H, м	Ростверк	Крайні колони	Внутрішні колони	Балка	Ферма	P, кН	q, кН/м	F, кН	A, кН	ω , рад/с	Матеріал
1	4,0	4,0	B=40, H=60, B1=100, H1=20 см	Коробка з швелерів 24	Швелер 24	Двотавр 36	Два кутника 100x10	20	8	20	1	15,7	ВСт3кп2
2	5,0	4,5						30	5	15	1,5	6,5	18пс
3	5,0	4,0						25	6	20	0,1	156	ВСт3сп5
4	4,5	3,0	C1=10 МН/м ³	Двотавр 40К3	Двотавр 20К2	Два швелера 20аП	Тавр 13ШТ1	35	5	18	2,5	1,2	18кп
5	4,0	3,5						25	3	10	0,5	37	ВСт3пс6
6	5,0	3,5						30	4	15	0,8	25	ВСт3сп5
7	4,0	4,0	B=60, H=80, B1=120, H1=40 см	Коробка з двотаврів 35К1	Тавр 20КТ12	Тавр 40ШТ1	Два кутника 80x8	20	5	20	0,2	78	ВСт3кп2-1
8	4,5	3,0						15	3	10	0,3	56	ВСт3Гпс5
9	5,0	4,0						25	6	12	0,7	65	ВСт3пс6-1
10	4,0	3,0	C1=8 МН/м ³	Коробка з швелерів 27П	Двотавр 23К2	Два швелера 30П	Кутник 120x10	40	4	8	0,5	42	18сп
11	4,5	3,5						30	8	15	0,8	30	ВСт3кп2
12	4,5	4,0						25	6	20	0,2	100	09Г2
13	4,0	3,5	C1=9,3 МН/м ³	Двотавр 26КУ7	Швелер 22	Двотавр 35Б1	Два кутника 125x80x10	35	5	12	1	21,7	ВСт3пс6
14	5,0	4,0						20	3	10	0,8	30	ВСт3Гпс5
15	4,5	4,0						30	4	15	0,3	65	ВСт3сп5-2

2. Порядок виконання завдання.

1. Створення нової задачі.

На головній панелі інструментів натисніть кнопку  *Новий*. У діалоговому вікні **Опис схеми** задайте ім'я задачі «ЛР18» і ознаку схеми «2».

2. Створення геометричної схеми конструкції.

Використовуючи команди  *Генерація регулярних фрагментів та сітей*,  *Генерація ферм*,  *Додати елемент* створіть геометричну схему рами згідно варіанту. Для елементів внутрішніх колон задайте для обох вузлів стержня шарніри навколо UY , вказавши їм нульову жорсткість.

Виберіть елементи ферми та натисніть на стрічці *Розширене редагування* кнопку  *Зміна типу КЕ*. Виберіть зі списку тип 1 – *КЕ плоскої ферми* та натисніть кнопку  *Застосувати*.

Виділіть горизонтальні елементи схеми. На стрічці *Стержні* натисніть кнопку  *Розрахункові перерізи стержнів* та задайте кількість розрахункових перерізів $N = 5$. Виконайте упаковку схеми.

3. Задання граничних умов.

Виберіть всі вузли балкового ростверка і задайте для них зв'язки, заборонивши переміщення вздовж осі X .

4. Задання параметрів пружної основи.

Виберіть усі елементи балкового ростверка і на стрічці натисніть кнопку  *Коефіцієнти постелі $C1, C2$* . У діалоговому вікні **Задання коеф. $C1$ та $C2$** відзначте тип елементів *Стержні* та задайте значення $C1z$.

5. Задання параметрів жорсткості та матеріалів для елементів схеми.

На стрічці натисніть на кнопку  *Жорсткості* та задайте всі типи жорсткості в схемі згідно варіанту. Для залізобетонних елементів додатково задайте параметри $E = 3e7$ кН/м², $R_0 = 27,5$ кН/м³. Призначте створені типи жорсткості відповідним елементам схеми.

У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** відзначте прапорець *Матеріал* та виберіть норми для проектування – *ДБН В.2.6-98:2009* для залізобетонних та *ДБН В.2.6-198:2014* для сталевих конструкцій і встановіть розрахунок перерізів за РСН. Задайте додаткові характеристики матеріалів та призначте їх елементам схеми.

Задайте конструктивні елементи для балкового ростверка, поясу ферми та колон.

6. Задання навантажень.

Задайте 5 завантажень на схему згідно варіанту: навантаження від власної ваги на всі елементи схеми; корисне навантаження P , q ; статичне вітрове навантаження F ; динамічне гармонічне амплітудою A та круговою частотою ω ; сейсмічне 7 балів.

Для задання гармонічного навантаження виберіть верхній вузол однієї з внутрішніх колон і на стрічці натисніть кнопку  *Навантаження*. У діалоговому

вікні **Задання навантажень** перейдіть на вкладку *Навантаження у вузлах*, натисніть кнопку  *Гармонічне навантаження у вузлі* та задайте її параметри – додаткову масу у вузлі 30 кН, амплітуду A , напрям дії – X .

Для формування динамічних на стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Врахування статичних навантажень* та проведіть збір ваги маси з першого та другого завантажень. На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Таблиця динам. завантажень* та у діалоговому вікні **Задання характеристик для розрахунку на динамічні впливи** задайте характеристики: для гармонічного завантаження – *Гармонійне зональне (28)*; для сейсмічного – *Сейсмічне (ДБН В.1.1-12:2006) (36)*.

7. Задання розрахункових сполучень навантажень (РСН).

На стрічці *Розрахунок* натисніть на кнопку  *РСН*. У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення навантажень** виберіть норми проектування – *ДБН В.1.2-2:2006*. У списку видів завантажень задайте вид для кожного завантаження:

- для першого завантаження – *Постійне (П)*;
- для другого – *Тривале (Т)*;
- для третього та четвертого – *Короткочасне (К)*;
- для п'ятого – *Сейсміка (С)*.

В нижній частині діалогового вікна по черзі виберіть поєднання *1 основне*, *2 основне*, *Аварійне(С)* і натисніть кнопку **Додати**. У таблиці з'являються стовпчики з величинами коефіцієнтів відповідно до застосовуваних формул. Натисніть на кнопку  *Зберегти дані* та закрийте діалогове вікно.

8. Розрахунок стійкості елементів.

На стрічці *Розрахунок* натисніть кнопку  *Стійкість*, задайте розрахунок за РСН для всіх поєднань, вкажіть визначення 5 форм втрати стійкості та натисніть кнопку  *Підтвердити*.

9. Виконання розрахунку задачі.

10. Візуалізація результатів розрахунку.

На стрічці *Аналіз* натисніть на нижній панелі інструментів кнопку  *Перейти до аналізу результатів по РСН*. Виведіть переміщення вузлів вздовж осі Z , епюри сил та моментів. На нижній панелі інструментів натисніть кнопку  *Форми втрати стійкості* та виведіть  *Коефіцієнти по L_y* . На стрічці *Конструювання* виведіть результати підбору арматури для розтертку та вичерпання несучої здатності для металевих елементів. Виведіть стандартні таблиці *Коефіцієнти запасу стійкості* та *Коефіцієнти вільних довжин*.

3. Контрольні запитання.

1. Задання жорсткості елементам схеми.
2. Розрахункові сполучення навантажень.

3. Задання параметрів пружної основи.
4. Задання гармонічних динамічних навантажень.
5. Розрахунок стійкості елементів.
6. Послідовність підбору перерізів металевих елементів конструкції.
7. Послідовність розрахунку армування залізобетонних елементів конструкції.

Рекомендована література

1. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
2. Верюжский, Ю.В. Компьютерные технологии проектирование железобетонных конструкций [Текст] / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов, М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский. – К.: Национальный авиационный университет, 2006. – 808 с.
3. Барабаш, М.С. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций [Текст] / М.С. Барабаш, М.В. Лазнюк, М.Л. Мартынова, Н.И. Пресняков. – М.: Из-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 328 с.
4. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – К.: Из-во «Сталь», 2002. – 600 с.
5. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013: Учебное пособие [Текст] / Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова / Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. – К.–М.: Электронное издание, 2013. – 376 с.
6. Водопьянов, Р.Ю. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015: Руководство пользователя. Обучающие примеры [Текст] / Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова / Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. – М.: Электронное издание, 2015. – 460 с.

Навчально-методична література

Сорочак А.П.

**Методичні вказівки
до лабораторних робіт з курсу
«Програмне забезпечення інженерних розрахунків»**

для студентів спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 10,20. Тираж 10 пр. Зам. № 3568

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя.
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.