

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання індивідуального завдання з дисципліни  
«МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА  
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ»  
за темою  
«Розрахунок залізобетонної балки з використанням  
системи «Інженерна нелінійність» ПК ЛІРА-САПР»  
(для здобувачів вищої освіти спеціальності  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»)  
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри  
будівництва, урбаністики та  
просторового планування  
Протокол № 6 від 30.01.2024 р.

Київ, 2024 р

УДК 69.04

Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання з дисципліни «Метод скінченних елементів та автоматизовані системи розрахунку на міцність» за темою «Розрахунок залізобетонної балки з використанням системи «Інженерна нелінійність» ПК ЛІРА-САПР» (для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: О.А. Черних, В. М. Соколенко, К. В. Соколенко. – Київ: СНУ ім. В. Даля, 2024. – 39 с.

Методичні вказівки мають ціль допомогти студентам денної та заочної форми навчання оволодіти технологією використання сучасного промислового програмного комплексу ПК «ЛІРА-САПР» на прикладі автоматизованого лінійного та інженерного нелінійного розрахунку залізобетонної балки з проведенням аналізу напружено-деформованого стану будівельної конструкції.

Рецензент:

П.Є. Уваров, доц., к.т.н.

Укладачі:

О.А. Черних, доц., к.т.н.

В. М. Соколенко, доц., к.т.н.

К. В. Соколенко, ст. викл.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ЛІНІЙНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ.....	6
1.1 Вихідні дані.....	6
1.2 Створення нової задачі.....	7
1.3 Створення геометричної схеми балки .....	8
1.4 Завдання граничних умов .....	10
1.5 Завдання варіантів конструювання .....	12
1.6 Завдання параметрів жорсткості елементів балки.....	13
1.6.1 Формування типів жорсткості .....	13
1.6.2 Завдання матеріалів для залізобетонних конструкцій .....	15
1.6.3 Призначення жорсткостей і матеріалів елементам балки ....	17
1.7 Завдання розрахункових перерізів стержнів .....	17
1.8 Завдання навантажень .....	17
1.8.1 Завдання розширеної інформації про завантаження.....	17
1.8.2 Формування завантаження № 1 .....	19
1.8.3 Формування завантаження № 2 .....	20
1.8.4 Формування завантаження № 3 .....	21
1.8.5 Формування завантаження № 4 .....	21
1.9 Генерація таблиці РСН.....	21
1.10 Повний розрахунок балки.....	23
1.11 Перегляд і аналіз результатів статичного розрахунку .....	23
1.11.1 Виведення на екран мозаїки переміщень.....	23
1.11.2 Виведення на екран епюр внутрішніх зусиль.....	23
1.11.3 Аналіз результатів розрахунку по РСН.....	25
1.11.4 Формування таблиць результатів розрахунку .....	25
2 НЕЛІНІЙНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ.....	28
2.1 Моделювання нелінійних завантажень .....	28

2.2 Розрахунок балки за допомогою системи «Інженерна нелінійність» .....	29
2.3 Перегляд і аналіз результатів розрахунку за допомогою системи «Інженерна нелінійність» .....	29
2.3.1 Виведення на екран мозаїки переміщень .....	29
2.3.2 Виведення на екран епюр внутрішніх зусиль .....	29
2.3.3 Виведення на екран мозаїки нелінійних жорсткостей .....	30
2.4 Перегляд і аналіз результатів армування .....	32
2.4.1 Перегляд результатів армування .....	32
2.4.2 Формування таблиць результатів підбору арматури .....	35
3 ЗАВДАННЯ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ .....	37
3.1 Вихідні дані .....	37
3.2 Завдання .....	37
4 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	38

## ВСТУП

У даних методичних вказівках наведені приклади автоматизованих лінійного та інженерного нелінійного розрахунків залізобетонної двопрогінної балки з проведенням аналізу напружено-деформованого стану будівельної конструкції із визначенням внутрішніх зусиль та переміщень від діючих навантажень, наведені варіанти конструювання за цими зусиллями для двох методів розрахунку.

Вирішення цих задач проводиться відповідно до вимог технічних дисциплін, а саме: визначення напружено-деформованого стану – опір матеріалів; конструювання балки – залізобетоні конструкції.

«Інженерна нелінійність» – новий підхід до розрахунку конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності. На підставі зусиль у визначальній комбінації (РСЗ і РСН не використовуються) виконується кроковий розрахунок з підбором арматури в перерізах елементів на кожному кроці. По результатах армування, отриманого на останньому кроці, обчислюються наведені характеристики жорсткості. Вони вважаються остаточними і автоматично присвоюються елементам схеми. Після цього виконується звичайний лінійний розрахунок на всі завантаження (в тому числі динамічні); при цьому обчислюються переміщення, РСЗ, РСН, підбирається арматура. Такий підхід дозволяє виконати більш ефективне армування залізобетонних елементів і отримати наближені до реальних переміщення конструкції. При цьому істотно скорочується і час завдання вихідних даних для розрахунку, і час самого розрахунку, по відношенню до крокового фізично нелінійного розрахунку.

Для оволодіння програмними комплексами потрібно витрачати певну кількість навчального часу. Для освоєння актуального функціоналу, як правило, достатньо ознайомитися з основними підходами та принципами роботи з програмним комплексом при формуванні розрахункових схем з урахуванням прийнятих вихідних даних: розрахункова схема конструкції та її закріплення, перерізи елементів, матеріал та навантаження.

Тому ключова мета даних методичних вказівок полягає у забезпеченні можливості практичного оволодіння студентами технології використання сучасного промислового програмного комплексу ЛІРА-САПР 2022 R1.1 на прикладі автоматизованих лінійного та інженерно-нелінійного розрахунків залізобетонної двопрогінної балки з проведенням аналізу напружено-деформованого стану будівельної конструкції відповідно до вимог діючих вітчизняних Державних будівельних норм.

## 1 ЛІНІЙНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ

### 1.1 Вихідні дані

Схема балки та її закріплення показані на рис. 1.1.

Переріз елементів балки показано на рис.1.2.

Матеріали залізобетонної балки:

**Бетон** класу **C20/25**;

**Арматура** класу **A400C** (повздовжня) та **A240C** (поперечна).

Навантаження:

**Завантаження 1** – власна вага  $q_1$  (рис.1.3);

**Завантаження 2** – рівномірно розподілене  $q_2 = 0.30$  т/м (рис.1.4);

**Завантаження 3** – рівномірно розподілене  $q_3 = 0.87$  т/м (рис.1.5);

**Завантаження 4** – рівномірно розподілене  $q_4 = 0.87$  т/м (рис.1.6).

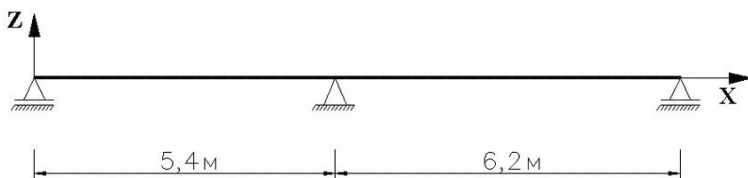


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема балки

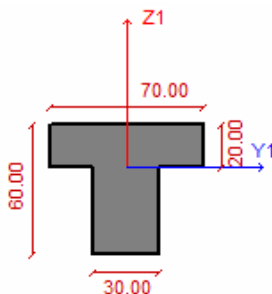


Рисунок 2.2 – Переріз елементів балки, розміри в см

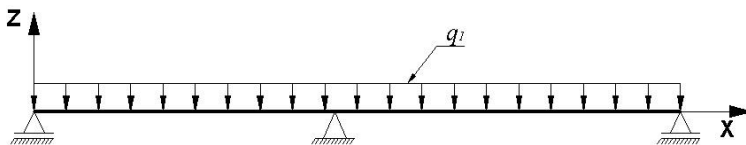


Рисунок 3.3 – Схема навантаження балки: завантаження 1

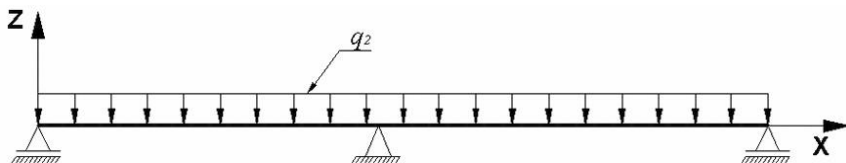


Рисунок 4.4 – Схема навантаження балки: завантаження 2

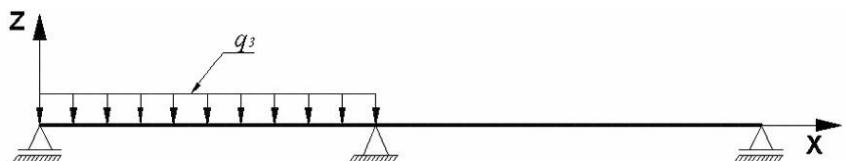


Рисунок 5.5 – Схема навантаження балки: завантаження 3

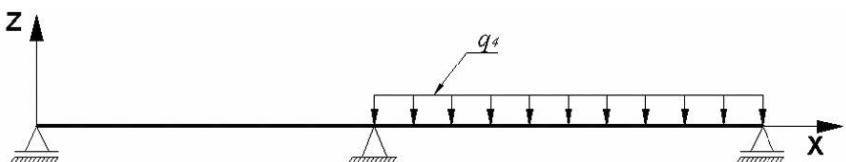


Рисунок 6.6 – Схема навантаження балки: завантаження 4

Для початку роботи з ПК ЛІРА-САПР® необхідно виконати наступну команду **Windows: Пуск → ЛІРА-САПР 2022 → ЛІРА-САПР 2022 R1.1.**

## 1.2 Створення нової задачі

Для створення нової задачі відкрийте меню **Програми** і виберіть пункт **Новий** (кнопка швидкого доступу) із **Другою** ознакою схеми (рис. 7.7).

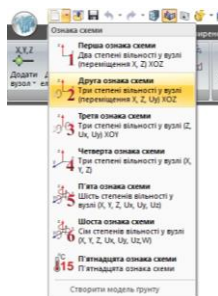


Рисунок 8.7 – Вибір ознаки нової задачі





Приймаємо поділ кожного прольоту балки на 10 частини. Тому в цьому діалоговому вікні задаємо наступні параметри:

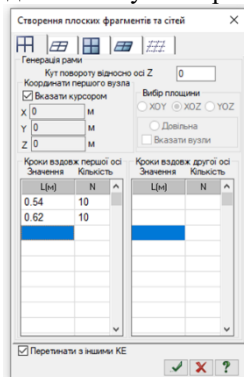


Рисунок 1.10 – Діалогове вікно **Створення плоских фрагментів і сітей**

Для збереження інформації про розрахункову схему відкрийте **меню Програми** і виберіть пункт **Зберегти**.

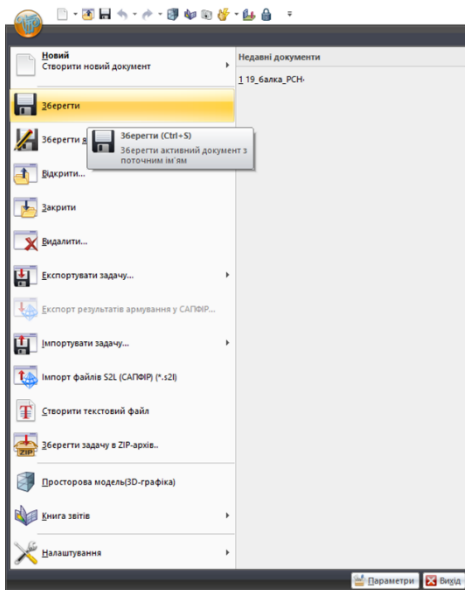



Рисунок 1.11 – Діалогове вікно **меню Програми**

### 1.4 Завдання граничних умов

Переходимо у проекцію на площину **XOZ** натисканням по кнопці  – **Проекція на XOZ** на панелі інструментів **Проекція** (рис.1.12).

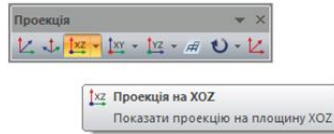



Рисунок 1.12 – Панель інструментів **Проекція**

Натискаємо кнопку  – **Параметри відображення** на панелі інструментів **Головній панелі** (рис.1.13).

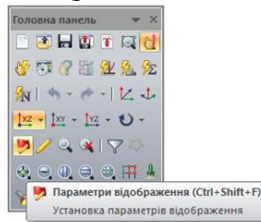






Рисунок 1.13 – Головна панель

У діалоговому вікні **Показати** при активній закладці **Елементи** устанавлюємо прапорець **Номери елементів**, переходимо на закладку **Вузли** та встановлюємо прапорець **Номери вузлів** та натискаємо кнопку –  **Перемалювати** (рис.1.14).

Натискаємо кнопку  – **Відмітка вузлів** у розкритому списку **Відмітка вузлів** панелі **Вибору** або на **Головній панелі** інструментів.

За допомогою курсору виділяємо вузли № **1** і **21** (вузли забарвлюються в червоний колір) (рис.1.15).

Натисканням по кнопці  – **В'язі** (панель **Жорсткості та в'язі** на вкладці **Створення та редагування**) викликаємо діалогове вікно **В'язі у вузлах** (рис.1.16). У цьому вікні, за допомогою установки прапорців, відмічаємо напрямки, по яких заборонені переміщення вузлів (**Z**). Натискаємо на кнопку  – **Додати в'язі у відмічених вузлах** (вузли забарвлюються у синій колір).

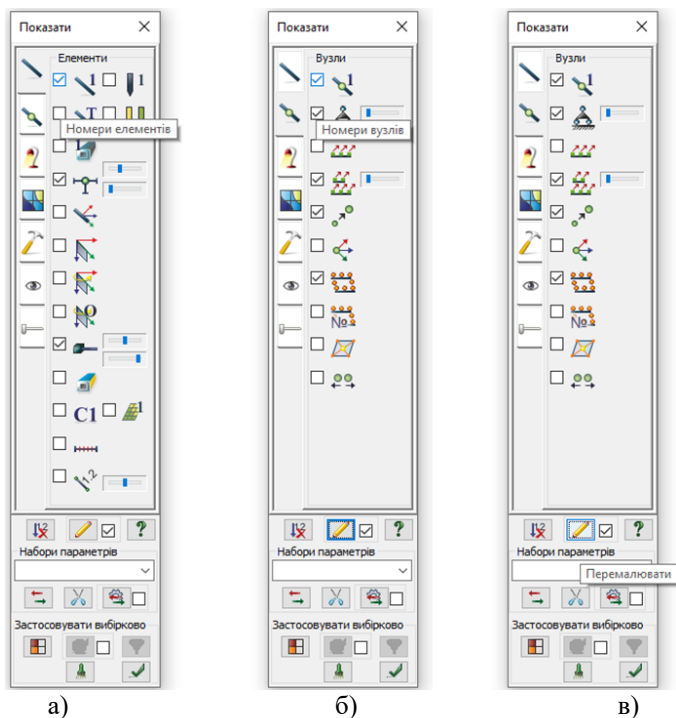


Рисунок 1.14 – Панель інструментів **Показати**:  
а) номера елементів, б) номера вузлів, в) перемалювати.

1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21

Рисунок 1.15 – Відмічені вузли: №1 та №21

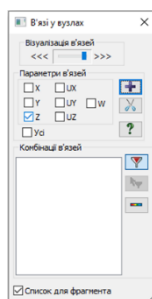


Рисунок 1.16 – Діалогове вікно **В'язі у вузлах**: №1 та №21

Виділяємо вузол № 11 за допомогою курсору. У діалоговому вікні **В'язі у вузлах** відмічаємо напрямки, по яких заборонено переміщення вузла (**X, Z**). Для цього необхідно встановити ще і прапорець у напрямку **X**. Натисніть кнопку **+** – **Додати в'язі у відмічених вузлах**.

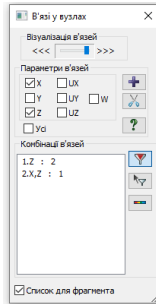


Рисунок 1.17 – Діалогове вікно **В'язі у вузлах**: №1, №21 та №11

Закрийте діалогове вікно **В'язі у вузлах** натисканням по кнопці **Закрити**. Натисніть кнопку **Відмітка вузлів** у розкритому списку **Відмітка вузлів** на панелі інструментів **Панель вибору**, щоб зняти активність з операції виділення вузлів. На рис.1.18 представлена отримана схема.

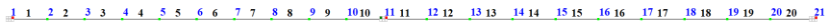


Рисунок 1.18 – Задані граничні умови у вузлах розрахункової схеми

### 1.5 Завдання варіантів конструювання

Викличте діалогове вікно **Варіанти конструювання** (рис.1.19) натисканням по кнопці **Варіанти конструювання** (панель **Конструювання** на вкладці **Створення та редагування**).

У цьому діалоговому вікні задайте параметри для першого варіанту конструювання:


у списку **Розрахунок перерізів** по: включіть радіо-кнопку **РСН**;

для вибору таблиці РСН натисніть кнопку **Додати/Редагувати таблицю РСН**;

у діалоговому вікні **Розрахункові сполучення навантажень** у розкритому списку виберіть будівельні норми **ДБН В.1.2 - 2:2006\_1**.

Після цього натисніть кнопку **Зберегти дані**, щоб зберегти всі введені дані. Закрийте діалогове вікно **Розрахункові сполучення навантажень** натисканням по кнопці **Вихід**.

У розкритому списку для залізобетонного розрахунку **Норми** виберіть рядок **ДБН В.1.2 - 2:2006\_1**.

Інші параметри приймаються за умовчанням. Після цього натисніть на кнопку  - **Застосувати**.

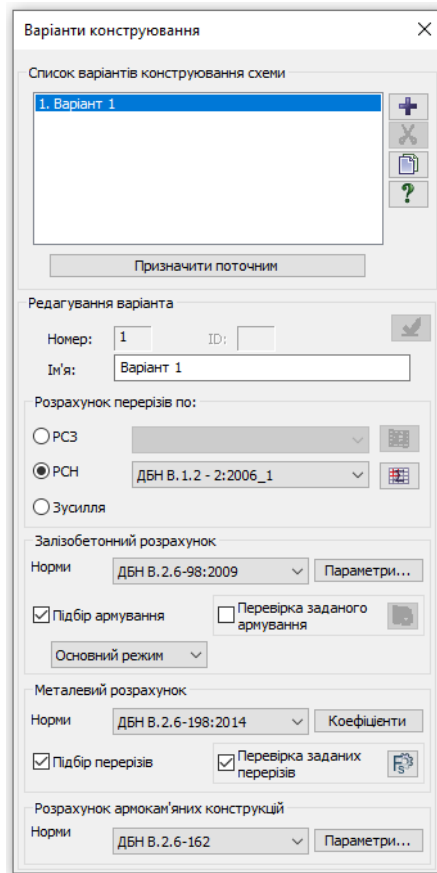



Рисунок 1.19 – Діалогове вікно **Варіанти конструювання**

## 1.6 Завдання параметрів жорсткості елементів балки

### 1.6.1 Формування типів жорсткості

Натисканням по кнопці  – **Жорсткості та матеріали елементів** (панель **Жорсткості та в'язі** на вкладці **Створення та редагування**)

викличте діалогове вікно **Жорсткості та матеріали** (рис.1.20, а). У цьому вікні натисканням по кнопці **Додати** викличте діалогове вікно **Додати жорсткість**, для того щоб вивести список стандартних типів перерізів (рис.1.20, б).

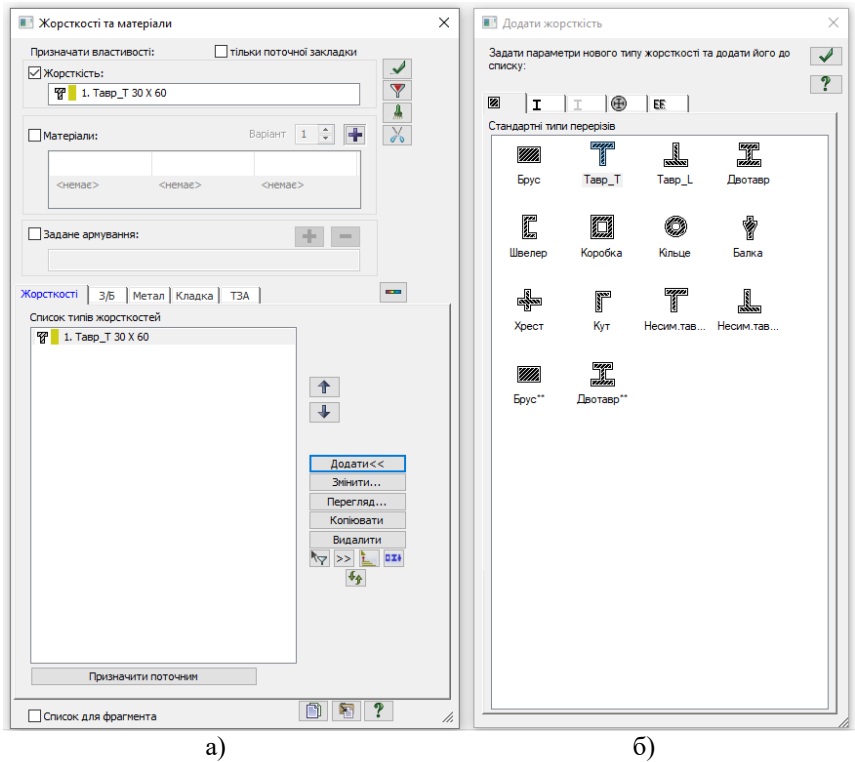


Рисунок 1.20 – Діалогові вікна:  
а – Жорсткості та матеріали, б – Додати жорсткість

Виберіть подвійним натисканням миші на елементі графічного списку тип перерізу **Тавр\_Т**.

У діалоговому вікні **Завдання стандартного перерізу** (рис.1.22) задайте параметри перерізу **Тавр\_Т**:

модуль пружності – **E** = 3e6 т/м2 (при англійській розкладці клавіатури);

коефіцієнт Пуассона – **V** = 0.25;

геометричні розміри – **B** = 30 см; **H** = 60 см; **B1** = 70 см; **H1** = 20 см;

питома вага матеріалу – **Ro** = 2.5 т/м3.

Щоб побачити ескіз створюваного перерізу з усіма розмірами, натисніть кнопку **Намалювати**.

Задання стандартного перерізу

Переріз Жорсткість

Жорсткісні характеристики перерізу

☒ Розраховувати автоматично за розмірами перерізу

☐ Редагувати у вкладці "Жорсткість"

☐ Врахування нелінійності

E  т/м<sup>2</sup>

V

B  см

H  см

B1  см

H1  см

Ro  т/м<sup>3</sup>

Врахування зсуву ☐

☐ Кроковий ☐ Ітераційний

☐ Розвантаження з початковою жорсткістю

☐ Нелінійний закон для арматури з ТЗА

Коментар

Колір

Зображення перерізу: Т-подібний переріз з розмірами B, H, B1, H1 та осями Z1, Y1.

а)

Задання стандартного перерізу

Переріз Жорсткість

Зміна значень жорсткісних характеристик

☒ Значення ☐ Коефіцієнт

EF	<input type="text" value="780000"/> т	<input type="text" value="1.0"/>
EIy	<input type="text" value="23646.2"/> т*м <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.0"/>
EIz	<input type="text" value="19850"/> т*м <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.0"/>
GIk	<input type="text" value="6282.52"/> т*м <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.0"/>
GFy	<input type="text" value="168000"/> т	<input type="text" value="1.0"/>
GFz	<input type="text" value="216000"/> т	<input type="text" value="1.0"/>

Переобчислити за розмірами перерізу

б)

Рисунок 1.21 – Діалогове вікно **Завдання стандартного перерізу**: а) переріз, б) жорсткість

Для введення даних натисніть кнопку **Підтвердити**.

Для того щоб приховати бібліотеку характеристик жорсткості, у діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку **Додати**.

### 1.6.2 Завдання матеріалів для залізобетонних конструкцій


У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть по другій закладці **З/Б (Завдання параметрів для залізобетонних конструкцій)**.

При включеній радіо-кнопці **Тип** натисніть кнопку **Редагувати**.

На екран виводиться діалогове вікно **Матеріали для розрахунку З/Б конструкцій** (рис.1.22), в якому натисніть по першому рядку у списку





Далі натисніть по першому рядку у списку **АРМАТУРА** і у правій частині вікна задайте у розкритому списку **Максимальний діаметр поздовжньої арматури, мм – 40**. Натисніть на кнопку  – **Підтвердити**.

### 1.6.3 Призначення жорсткостей і матеріалів елементам балки



У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** установіть прапорець **Матеріали** у полі **Призначити елементам схеми**.

У цьому вікні у списку поточного типу жорсткості повинна бути встановлена жорсткість – **1. Тавр\_Т**, а у списку поточних матеріалів повинні бути встановлені в якості поточних:

**Тип – 1. Балка;**

**Бетон – 1. С20/25;**

**Арматура – 1. А400С. А400С. А240С.**

Натисніть кнопку  – **Відмітка горизонтальних стержнів** на панелі інструментів **Панель вибору**. За допомогою курсору виділіть всі елементи схеми (виділені елементи забарвлюються у червоний колір). У діалоговому вікні **Жорсткості та матеріали** натисніть кнопку  - **Застосувати**.

## 1.7 Завдання розрахункових перерізів стержнів

Для виклику діалогового вікна **Розрахункові перерізи стержнів** необхідно в **Меню** натиснути на заголовок **Схема** та перейти на стрічку **Розрахункові перерізи стержнів** (рис.1.23).

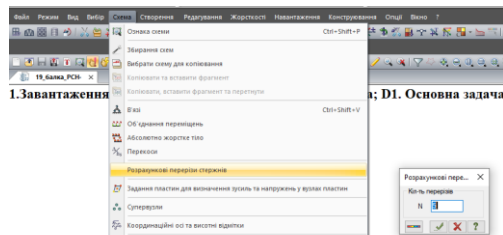


Рисунок 1.23 – Діалогове вікно **Розрахункові перерізи стержнів**

## 1.8 Завдання навантажень

### 1.8.1 Завдання розширеної інформації про завантаження

Викличте діалогове вікно **Редактор завантажень** (рис.1.24) натисканням по кнопці  **Редактор завантажень** (панель **Навантаження** на вкладці **Створення та редагування**).

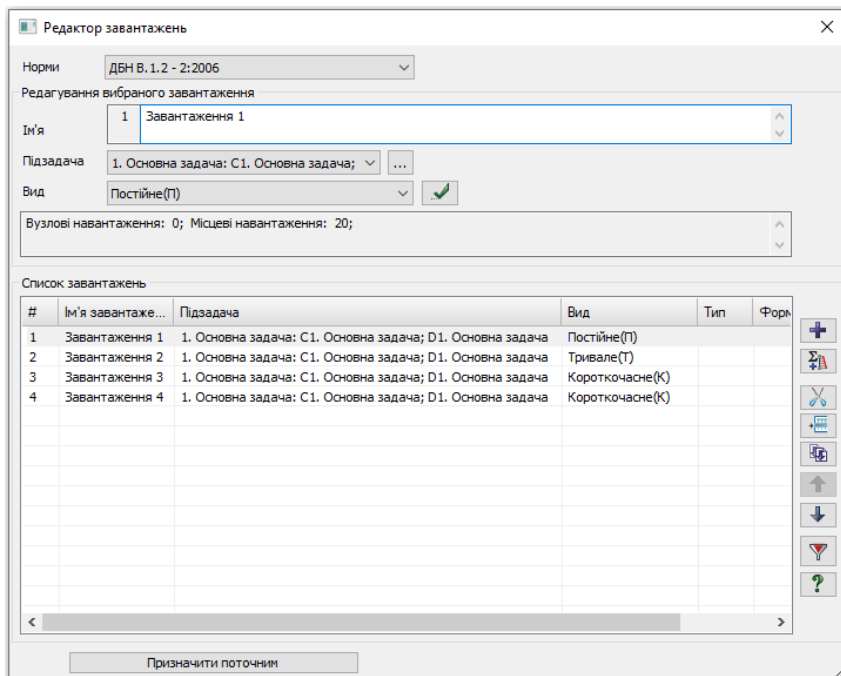


Рисунок 1.24 – Діалогове вікно **Редактор завантажень**

Для **Завантаження 1** у полі **Редагування вибраного завантаження** виберіть у розкривному списку **Вид** рядок **Постійне** і натисніть кнопку – **Застосувати**.


Щоб додати друге завантаження, у полі **Список завантажень** натисніть кнопку – **Додати завантаження (в кінець)**.

Для **Завантаження 2** у полі **Редагування вибраного завантаження** виберіть у розкривному списку **Вид** рядок **Тривале** і натисніть кнопку – **Застосувати**.


Щоб додати третє завантаження, у полі **Список завантажень** натисніть кнопку – **Додати завантаження (в кінець)**.

Для **Завантаження 3** у полі **Редагування вибраного завантаження** виберіть у розкривному списку **Вид** рядок **Короткочасне** і натисніть кнопку – **Застосувати**.


Щоб додати четверте завантаження, у полі **Список завантажень** натисніть кнопку – **Додати завантаження (в кінець)**.

Для **Завантаження 4** у полі **Редагування вибраного завантаження** виберіть у розкритому списку **Вид рядок Короткочасне** і натисніть кнопку  – **Застосувати**.

Щоб перейти до формування першого завантаження, у полі **Список завантажень** виділіть перший рядок **1. Завантаження 1** і натисніть кнопку **Призначити поточним** (можна призначити поточним завантаження подвійним натисканням по рядку списку).

Закрийте діалогове вікно **Редактор завантажень** натисканням по кнопці  – **Закрити**.

### 1.8.2 Формування завантаження № 1

Викличте діалогове вікно **Додати власну вагу** (рис.1.25) натисканням по кнопці  – **Додати власну вагу** (панель **Навантаження** на вкладці **Створення та редагування**).

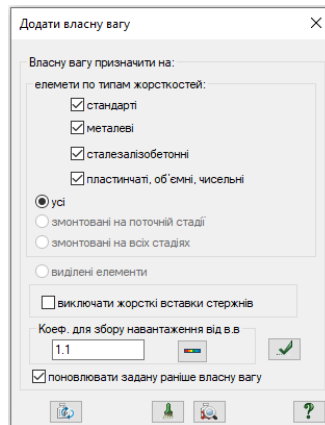




Рисунок 1.25 – Діалогове вікно **Додати власну вагу**

У цьому вікні, при включеній радіо-кнопці **усі**, у полі **Коефіцієнт для збору навантаження від в.в. (власна вага)** задайте коефіцієнт рівний **1.1** (так як питома вага задана нормативною, то її потрібно перетворити в розрахункову). Натисніть кнопку  – **Застосувати** (всім елементам конструкції автоматично призначається рівномірно розподілене навантаження, яке дорівнює погонній вазі елементів).

### 1.8.3 Формування завантаження № 2

Змініть номер поточного завантаження натисканням по кнопці ▲ – **Наступне завантаження** у рядку стану (знаходиться в нижній області робочого вікна).

Виділіть всі елементи.

Викличте діалогове вікно **Завдання навантажень** на закладці **Навантаження на стержні** (рис.1.26) вибравши команду  – **Навантаження на стержні** у розкривному списку **Навантаження на вузли та елементи** (панель **Навантаження** на вкладці **Створення та редагування**). У цьому вікні за умовчанням вказана система координат **Глобальна**, напрямок – уздовж осі **Z**.

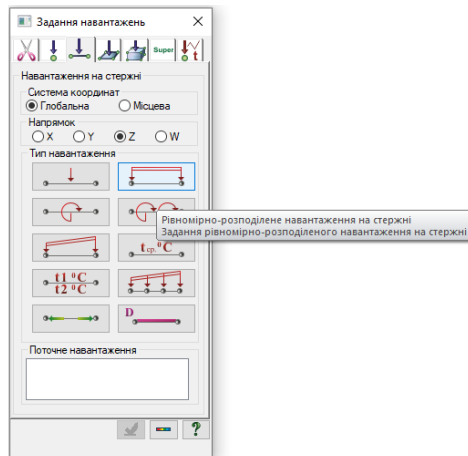

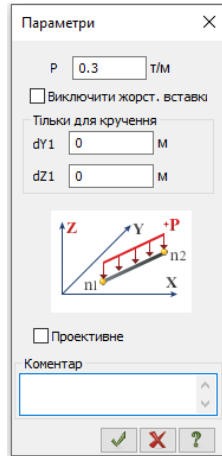


Рисунок 1.26 – Діалогове вікно **Завдання навантажень**

Натисканням по кнопці **Рівномірно розподілене навантаження** викличте діалогове вікно **Параметри**, задайте інтенсивність навантаження  $p = 0.3 \text{ т/м}$  та натисніть кнопку  – **Підтвердити** (рис.1.27).

Рисунок 1.27 – Діалогове вікно **Параметри**

### 1.8.4 Формування завантаження № 3

Змініть номер поточного завантаження натисканням по кнопці ▲ – **Наступне завантаження** у рядку стану.

За допомогою курсору виділіть елементи **першого прогону № 1 - 10**.

Натисканням по кнопці **Рівномірне розподілене навантаження** викличе діалогове вікно **Параметри**, задайте інтенсивність навантаження  $p = 0.87$  т/м і натисніть кнопку ✓ – **Підтвердити**.

### 1.8.5 Формування завантаження № 4

Змініть номер поточного завантаження натисканням по кнопці ▲ – **Наступне завантаження** у рядку стану.

За допомогою курсору виділіть елементи **другого прогону № 11 - 20**.

Натисканням по кнопці **Рівномірне розподілене навантаження** викличе діалогове вікно **Параметри**, задайте інтенсивність навантаження  $p = 0.87$  т/м і натисніть кнопку ✓ – **Підтвердити**.

## 1.9 Генерація таблиці РСН

Натисканням по кнопці 📄 – **РСН** (панель **Дод. розрахунки** на вкладці **Розрахунок**) викличе діалогове вікно **Розрахункові сполучення навантажень** (рис.1.28).

Розрахункові сполучення навантажень

Номер таблиці РСН 1 Ін'я таблиці РСН ДБН В.1.2 - 2:2006\_1

ДБН В.1.2 - 2:2006

☐ Динаміка по модулю  
☐ Визначальні РСН

Коеф. надійності за відповідальністю  
для I-го ГС 1  
для II-го ГС 1  
для аварійних сполучень 1

У розрахунковій схемі задані:  
☐ розрахункові навантаження  
☐ нормативні навантаження

☒ Не враховувати сейсміку для II-го ГС  
☐ Не враховувати особливе навантаження для II-го ГС

N завантаж.	Найменування	Вид	Знакозвн.	Взаємовикл.	Yfm / Yfe	P q / P d	1.PCH1	2.PCH2	3.PCH3	4.PCH4	5.PCH5	6.PCH6
1	Завантаження 1	Постійне(П)	+		1.1	1.0	1.	1.	1.	1.	1.	1.
2	Завантаження 2	Тривале(Т)	+		1.2	1.0	0.	1.	0.	0.	0.95	0.95
3	Завантаження 3	Короткочасне(К)	+	1	1.0	0.35	0.	0.	1.	0.	0.9	0.
4	Завантаження 4	Короткочасне(К)	+	1	1.0	0.35	0.	0.	0.	1.	0.	0.9

1 основне  
2 основне  
Аварійне (С)  
Аварійне (В,С)

Σ1+0.95Σ2+0.9Σ3+0.9Σ4+0.9Σ5+0.9Σ6

Додати Коефіцієнти

Рисунок 1.28 – Діалогове вікно **Розрахункові сполучення навантажень**

У діалоговому вікні **Розрахункові сполучення навантажень**, при вибраних будівельних нормах **ДБН В.1.2 - 2:2006\_1**, у стовпці **Взаємовиключення** для третього і четвертого завантажень у відповідних клітинках задайте **1**.

Для завдання сполучень виконайте наступні дії:  
у списку сполучень виділіть рядок **1 основне** та натисніть **Додати**;  
у списку сполучень виділіть рядок **2 основне** та натисніть **Додати**.  
Після цього натисніть на кнопку - **Зберегти дані**, щоб зберегти всі введені дані.

Закрийте діалогове вікно **Розрахункові сполучення навантажень** натисканням по кнопці – **Вихід**.


У діалоговому вікні **Попередження** (рис.1.29) натисніть кнопку **Ок**.

Попередження


Вся таблиця РСЗ або деякі її рядки сформовані автоматично за умовчанням згідно з поточними нормами та видом завантажень. Для підтвердження призначення натисніть кнопку Підтвердити в діалозі задання РСЗ!

Ок


Рисунок 1.29 – Діалогове вікно **Попередження**

Для збереження інформації про розрахункову схему відкрийте меню **Програми** і виберіть пункт **Зберегти** (кнопка  на панелі швидкого доступу).

### 1.10 Повний розрахунок балки

Запустіть задачу на розрахунок натисканням по кнопці  – **Виконати повний розрахунок** (панель **Розрахунок** на вкладці **Розрахунок**).

### 1.11 Перегляд і аналіз результатів статичного розрахунку

Перегляд і аналіз результатів статичного та динамічного розрахунків здійснюється на вкладці **Аналіз**. У режимі перегляду результатів розрахунку за замовченням розрахункова схема відображається з урахуванням переміщень вузлів (рис.1.30). Для відображення схеми без урахування переміщень вузлів натисніть кнопку  – **Вихідна схема** (панель **Деформації** на вкладці **Аналіз**).

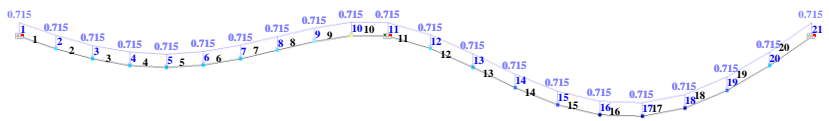





Рисунок 1.30 – Мозаїка переміщень у напрямку Z

#### 1.11.1 Виведення на екран мозаїки переміщень

Щоб вивести на екран мозаїки переміщень у напрямку Z, виберіть команду  – **Мозаїка переміщень у глобальній системі** у розкритому списку **Мозаїка/ізополя** і після цього натисніть кнопку  – **Мозаїка переміщень по Z** (панель **Деформації** на вкладці **Аналіз**).

#### 1.11.2 Виведення на екран епюр внутрішніх зусиль

Натисканням по кнопці  – **Епюри Му** (панель **Зусилля в стержнях** на вкладці **Аналіз**) виведіть на екран епюру **Му** (рис.1. 31).

1.Завантаження 1 [1. Основна задача; C1. Основна задача; D1. Основна задача]  
Епюра  $M_y$   
Одиниці виміру -  $\text{т}^2\text{м}$

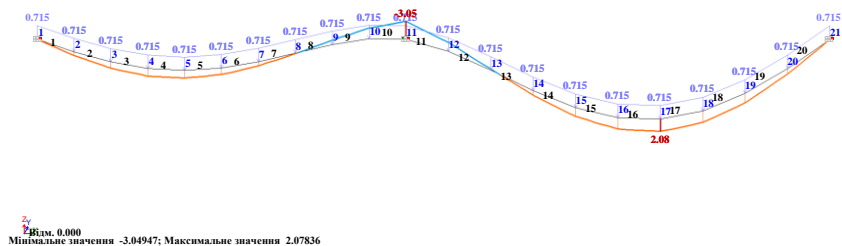


Рисунок 1.31 – Епюра згинальних моментів  $M_y$

Для виведення епюри  $Q_z$  (рис.1.32) натисніть кнопку  **$Q_z$**  – **Епюри поперечних сил  $Q_z$**  (панель **Зусилля в стержнях** на вкладці **Аналіз**).

1.Завантаження 1 [1. Основна задача; C1. Основна задача; D1. Основна задача]  
Епюра  $Q_z$   
Одиниці виміру -  $\text{т}$

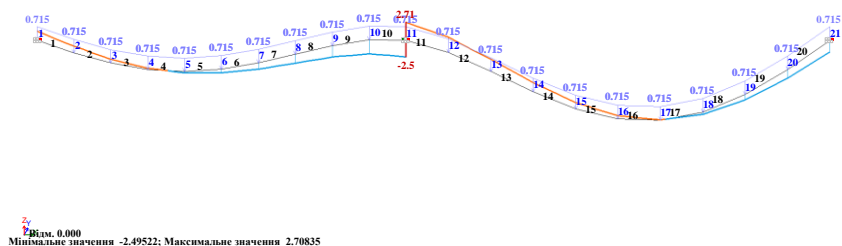
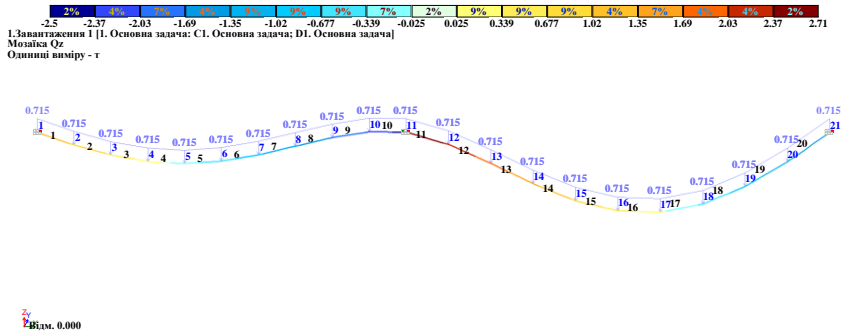



Рисунок 1.32 – Епюра поперечних сил  $Q_z$

Щоб вивести мозаїку зусилля  $Q_z$  (рис.1.33), виберіть команду **Мозаїка зусилля в стержнях** у розкриттій списку **Епюри/мозаїка** і після цього натисніть кнопку – **Мозаїка  $Q_z$**  (панель **Зусилля в стержнях** на вкладці **Аналіз**).



Рисунок 1.33 – Мозаїка поперечних сил  $Q_z$ 


### 1.11.3 Аналіз результатів розрахунку по РСН


Переключіться на візуалізацію результатів розрахунку по РСН натисканням по кнопці  – **Перейти до аналізу результатів по РСН** у рядку стану.

Виведення на екран епюр внутрішніх зусиль по РСН здійснюється аналогічно описаним раніше діям.


Для перемикавання номера РСН, у рядку стану в розкритому списку **Змінити номер завантаження** виберіть рядок відповідний потрібному сполученню.

### 1.11.4 Формування таблиць результатів розрахунку

Для виведення на екран таблиці зі значеннями розрахункових сполучень навантажень в елементах схеми, виберіть команду  – **Стандартні таблиці** у розкритому списку **Документація** (панель **Таблиці** на вкладці **Аналіз**).

Після цього у діалоговому вікні **Таблиці** (рис.1.34) виділіть рядок **РСН розрахункові** та натисніть кнопку  – **Застосувати**.



Натисканням по кнопці  – **Фільтр** викличе діалогове вікно **Фільтри таблиць** (рис. 1.36).

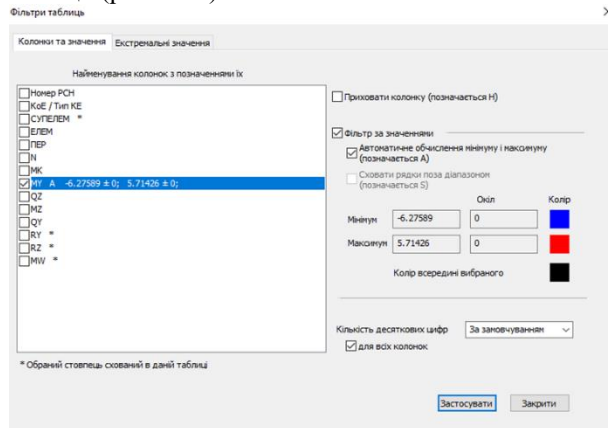


Рисунок 1.36 – Діалогове вікно **Фільтри таблиць**

У цьому діалоговому вікні задайте:

у лівій частині вікна у полі **Найменування колонок з позначеннями їх властивостей** установіть прапорець **MY**;

у правій частині вікна встановіть прапорець **Автоматичне обчислення мінімуму та максимуму(позначається А)**;

натисніть кнопку **Застосувати**.

Закрийте діалогове вікно **Фільтри таблиць** натисканням по кнопці – **Закрити**.

Після аналізу закрийте таблицю **РСН розрахункові [ДБН В.1.2 - 2:2006\_1]** натисканням по кнопці  – **Закрити**.

## 2 НЕЛІНІЙНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ

### 2.1 Моделювання нелінійних завантажень

Натисканням по кнопці **EN** – Інженерна нелінійність (панель **Нелінійність** на вкладці **Розрахунок**) викличе діалогове вікно **Моделювання нелінійних завантажень конструкції** (рис.2.1).

Моделювання нелінійних завантажень конструкції

Інк. нелінійність 1 ▾ Параметри

Номер вар-ту конструювання

Коефіцієнти визначальної комбінації

N зав.	Коef.	Найменування
1	1	Завантаження 1
2	0.95	Завантаження 2
3	0	Завантаження 3
4	0.9	Завантаження 4


✂ ✓ ?


Рисунок 2.1 – Діалогове вікно **Моделювання нелінійних завантажень конструкції**

У діалоговому вікні потрібно сформувати таблицю завантажень, які будуть визначальними при розрахунку приведених жорсткостей. Для того, щоб завантаження брало участь у «визначальній» комбінації завантажень, необхідно задати коефіцієнт відмінний від нуля. Значення коефіцієнту, рівне нулю, говорить про те, що дане завантаження у «визначальній»

комбінації не бере участі. В якості «визначальної комбінації завантажень» для даної задачі приймаємо сполучення завантажень 1, 2 і 4.


У стовпці **Коеф.** для завантажень у відповідних клітинках задайте наступні значення коефіцієнтів: для першого **1.0**, для другого **0.95** і для четвертого **0.9** згідно **6.РСН6** із таблиці **Розрахункові сполучення навантажень** (див. рис.1.28).

Для введення даних натисніть кнопку  – **Підтвердити**.

Для збереження інформації про розрахункову схему відкрийте меню **Програми** і виберіть пункт **Зберегти як** (кнопка  на панелі швидкого доступу).


У діалоговому вікні **Зберегти як** задайте: ім'я задачі – **19\_балка\_Інженер\_нелін-ть** та папку, в яку буде збережена ця задача (за замовченням вибирається папка – **Data**). Натисніть кнопку **Зберегти**.

## 2.2 Розрахунок балки за допомогою системи «Інженерна нелінійність»

Запустіть задачу на розрахунок натисканням по кнопці  – **Виконати повний розрахунок** (панель **Розрахунок** на вкладці **Розрахунок**).

## 2.3 Перегляд і аналіз результатів розрахунку за допомогою системи «Інженерна нелінійність»

### 2.3.1 Виведення на екран мозаїки переміщень

Щоб вивести на екран мозаїки переміщень у напрямку  $Z$  (рис.2.2), виберіть команду  – **Мозаїка переміщень у глобальній системі** у розкритому списку **Мозаїка/ізополя** і після цього натисніть кнопку **Z** – **Мозаїка переміщень по Z** (панель **Деформації** на вкладці **Аналіз**).

### 2.3.2 Виведення на екран епюр внутрішніх зусиль

Натисканням по кнопці **M<sub>y</sub>** - **Епюри M<sub>y</sub>** (панель **Зусилля в стержнях** на вкладці **Аналіз**) виведіть на екран епюру **M<sub>y</sub>** (рис.2. 3).

Для виведення епюри **Q<sub>z</sub>** (рис.2.4) натисніть кнопку **Q<sub>z</sub>** – **Епюри поперечних сил Q<sub>z</sub>** (панель **Зусилля в стержнях** на вкладці **Аналіз**).

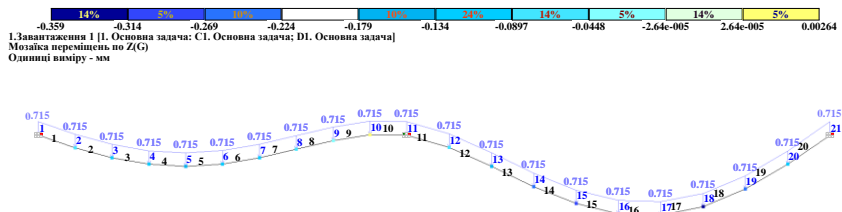


Рисунок 2.2 – Мозаїка переміщень у напрямку  $Z$ .

Рисунок 2.3 – Епюра згинальних моментів  $M_y$

Рисунок 2.4 – Епюра поперечних сил  $Q_z$

### 2.3.3 Виведення на екран мозаїки нелінійних жорсткостей

Для виведення на екран мозаїки осової жорсткості стержня **ЕФ** застосовуємо додаткове меню стрічки **Стиль** → **Меню** → меню **Зусилля** → **Нелінійні жорсткості** → **ЕФ – жорсткість стержня** (рис. 2.5).

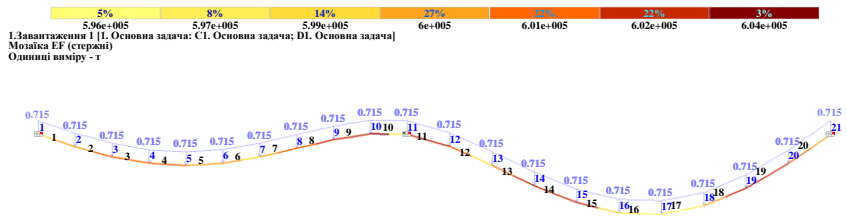


Рисунок 2.5 – Мозайка осьової жорсткості стержня EF

Для виведення мозаїки згинальної жорсткості навколо місцевої осі Y1 стержня EY, перейдіть у пункт меню Зусилля → Нелінійні жорсткості → EY – жорсткість стержня (рис. 2.6).

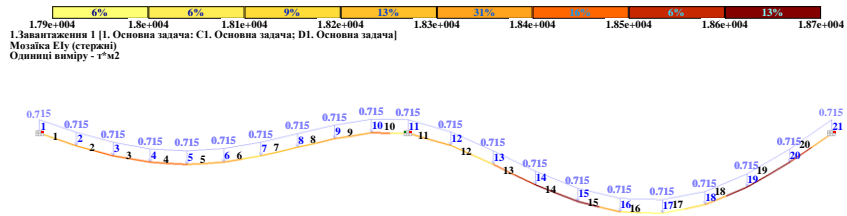


Рисунок 2.6 – Мозайка згинальної жорсткості стержня EY

Для виведення мозаїки згинальної жорсткості навколо місцевої осі Z1 стержня EZ, перейдіть у пункт меню Зусилля → Нелінійні жорсткості → EZ – жорсткість стержня (рис. 2.7).

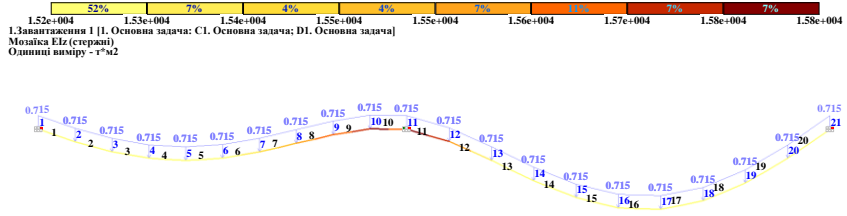


Рисунок 2.7 – Мозайка згинальної жорсткості стержня EZ

Для виведення мозаїки жорсткості стержня на кручення навколо осі X1 G1x, перейдіть у пункт меню Зусилля → Нелінійні жорсткості → G1x – жорсткість стержня (рис. 2.8).

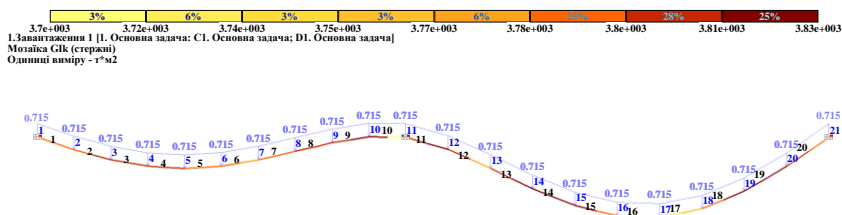


Рисунок 2.8 – Мозаїка жорсткості стержня на кручення Glk

## 2.4 Перегляд і аналіз результатів армування

### 2.4.1 Перегляд результатів армування

Для перегляду інформації про підбрану арматуру в одному з елементів, натисніть кнопку – **Інформація про вузол або елемент** на панелі інструментів **Панель вибору** і вкажіть курсором на будь-який елемент (рис. 2.9).

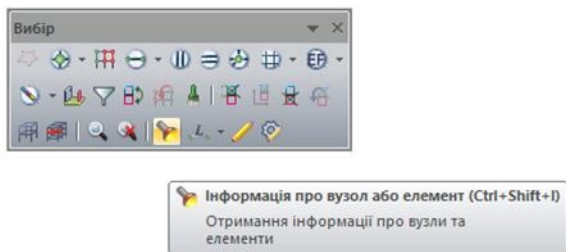


Рисунок 2.9 – Інформація про вузол або елемент

У діалоговому вікні перейдіть на закладку **Інформація про підбрану несиметричну арматуру** (в цьому вікні міститься повна інформація про вибраний елемент, в тому числі і з результатами підбору арматури), вставте помітку у віконці **Показати** для виклику **Схеми розміщення арматури у перерізу** (рис. 2.10).

Після аналізу інформації по окремих елементах закрийте діалогове вікно натисканням по кнопці – **Закрити**.



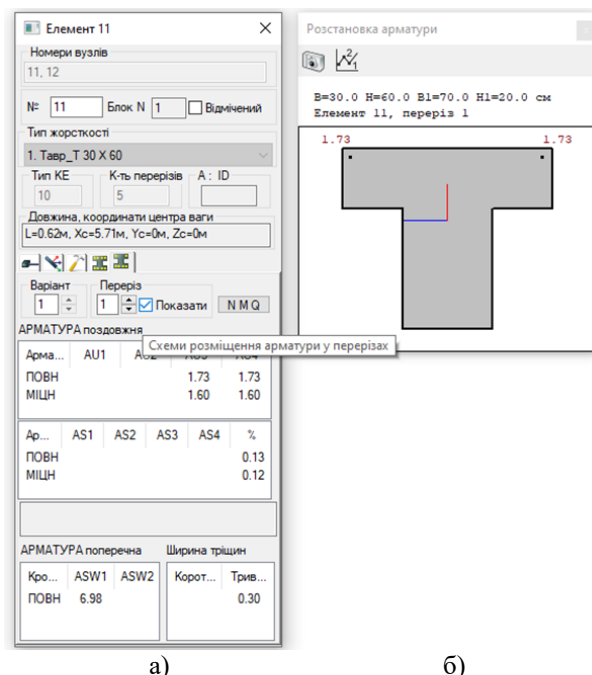


Рисунок 2.10 – Інформація про розрахунковий переріз № 1 елемента № 11:  
 а) інформація про несиметричне армування перерізу,  
 б) схема розміщення арматури у перерізі

Для встановлення режиму відображення несиметричного армування в перерізах стержнів, виберіть команду – **Несиметричне армування** у розкритому списку **Армування** (панель **Армування стержнів** на вкладці **Залізобетон**) (рис. 2.11).

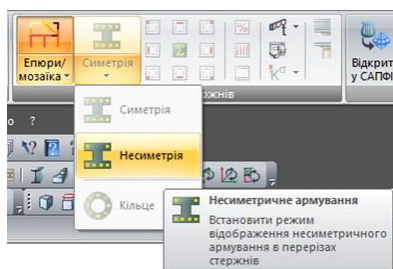


Рисунок 2.11 – Вибір режиму **Несиметричне армування**



Щоб подивитися мозаїку відображення площі поздовжньої арматури в нижньому лівому куті перерізу стержня AU1, натисніть кнопку  – **Кутова арматура AU1** (панель **Армування стержнів** на вкладці **Залізобетон**) (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Кутова арматура AU1

Щоб подивитися мозаїку відображення площі поздовжньої арматури в нижньому правому куті перерізу стержня AU2, натисніть кнопку  – **Кутова арматура AU2** (панель **Армування стержнів** на вкладці **Залізобетон**) (рис. 2.13).

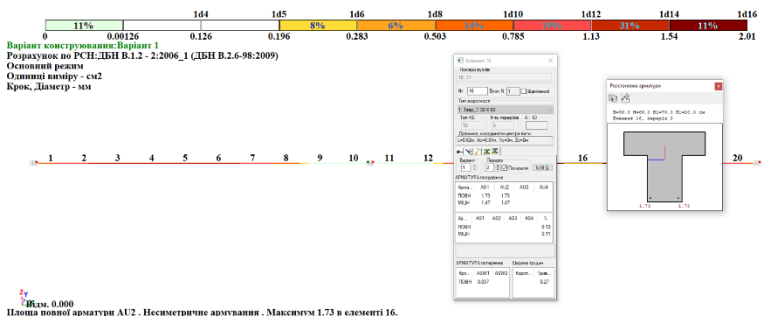



Рисунок 2.13 – Кутова арматура AU2

Щоб подивитися мозаїку відображення площі поздовжньої арматури в верхньому лівому куті перерізу стержня AU3, натисніть кнопку  – **Кутова арматура AU3** (панель **Армування стержнів** на вкладці **Залізобетон**) (рис. 2.14).

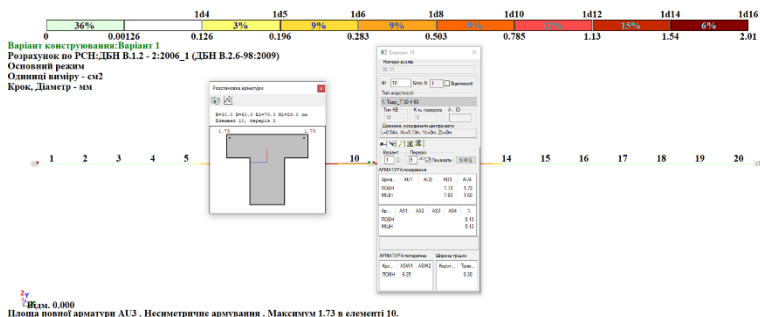



Рисунок 2.14 – Кутова арматура AU3

Щоб подивитися мозаїку відображення площі поздовжньої арматури в верхньому правому куті перерізу стержня AU4, натисніть кнопку  – **Кутова арматура AU4** (панель **Армування стержнів** на вкладці **Залізобетон**) (рис. 2.15).

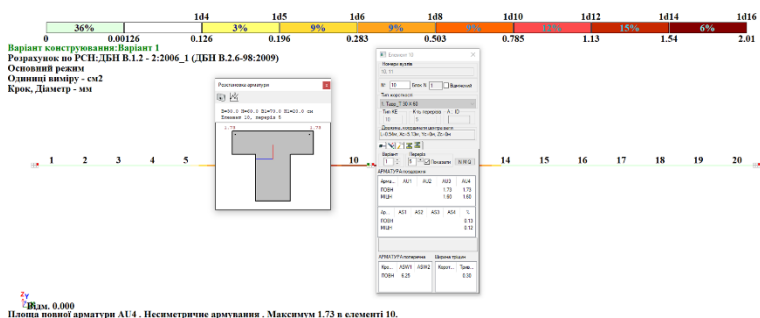



Рисунок 2.15 – Кутова арматура AU4

## 2.4.2 Формування таблиць результатів підбору арматури

Викличте діалогове вікно **Таблиці**, вибравши команду  – **Таблиці результатів для ЗБ** у розкривному списку **Документація** (панель **Таблиці** на вкладці **Залізобетон**).

Після цього у діалоговому вікні **Таблиці** виділіть рядок **Арматура в елементах** (рис. 2.16).

Натисніть кнопку  – **Застосувати** для формування таблиці **Підбір армування** (рис. 2.17).

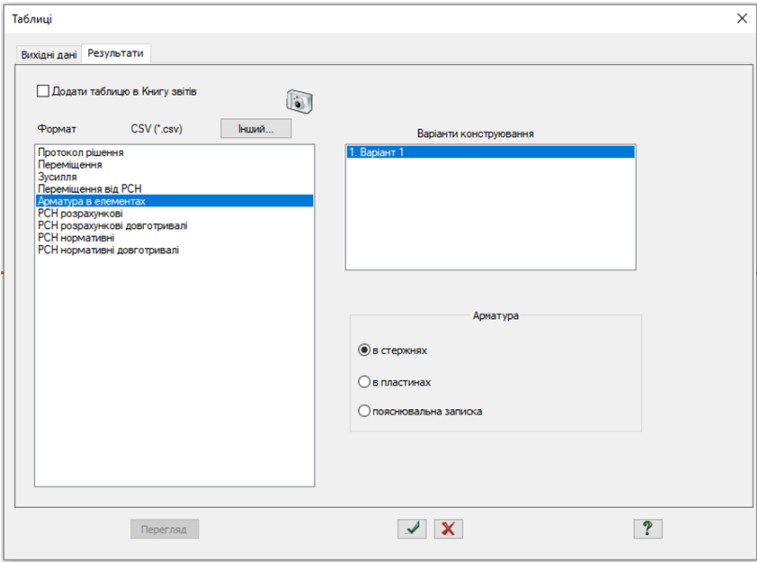



Рисунок 2.16 – Діалогове вікно **Таблиці**

Підбір армування

ГР	Елемент	Переріз	СПС	AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	%	ASW1	ASW2	Корот.	Трив.
1	10	1	H			1.47	1.47					0.11	0.04			0.28
1	10	1	H			1.08	1.08					0.08				
1	10	2	H			1.6	1.6					0.12	0.04			0.26
1	10	2	H			1.21	1.21					0.09				
1	10	3	H			1.6	1.6					0.12	5.73			0.29
1	10	3	H			1.34	1.34					0.1				
1	10	4	H			1.73	1.73					0.13	5.99			0.28
1	10	4	H			1.47	1.47					0.11				
1	10	5	H			1.73	1.73					0.13	6.25			0.3
1	10	5	H			1.6	1.6					0.12				
2 - Балка / Тавр попер. зверху В=30.00/ Н=60.00/ В1=70.00/ Н1=20.00 см/ L=0.62 м Бетон С20/25/ Арматура: поздовжки А400С/ поперечка А240С																
2	11	1	H			1.73	1.73					0.13	6.98			0.3
2	11	1	H			1.6	1.6					0.12				
2	11	2	H			1.6	1.6					0.12	6.69			0.29
2	11	2	H			1.34	1.34					0.1				
2	11	3	H			1.47	1.47					0.11	6.39			0.28
2	11	3	H			1.08	1.08					0.08				
2	11	4	H			1.34	1.34					0.1	6.1			0.29
2	11	4	H			0.95	0.95					0.07				
2	11	5	H			1.21	1.21					0.09	5.8			0.3
2	11	5	H			0.82	0.82					0.06				
2	12	1	H			1.21	1.21					0.09	5.8			0.3
2	12	1	H			0.82	0.82					0.06				
2	12	2	H			1.21	1.21					0.09	0.04			0.25
2	12	2	H			0.69	0.69					0.05				
2	12	3	H			1.08	1.08					0.08	0.04			0.26
2	12	3	H			0.69	0.69					0.05				
2	12	4	H	0.26	0.26	0.95	0.95					0.09	0.04			0.26
2	12	4	H			0.56	0.56					0.04				
2	12	5	H	0.65	0.65	0.82	0.82					0.11	0.04			0.28
2	12	5	H	0.26	0.26	0.43	0.43					0.05				
2	13	1	H	0.65	0.65	0.82	0.82					0.11	0.04			0.28
2	13	1	H	0.26	0.26	0.43	0.43					0.05				
2	13	2	H	0.82	0.82	0.78	0.78					0.12	0.04			0.24
2	13	2	H	0.43	0.43	0.39	0.39					0.06				

Рисунок 2.17 – Таблиця **Підбір армування**

Після аналізу результатів підбору арматури закрийте таблицю натисканням по кнопці  **Закрити**.

### 3 ЗАВДАННЯ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ

#### 3.1 Вихідні дані

Схема балки та її закріплення показані на рис. 1.1.

Переріз елементів балки показано на рис. 1.2.

У таблиці 3.1 наведені наступні вихідні дані:

1. довжини першого  $L_1$  та другого  $L_2$  прогонів;
2. величини рівномірно розподілених навантажень  $q_2$ ,  $q_3$  та  $q_4$ ;
3. класи бетону та арматури.

Таблиця 3.1 Вихідні дані

№	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$q_2$ , т/м	$q_3$ , т/м	$q_4$ , т/м	Клас	
						Бетону	Повздожньої арматури
1	2	3	4	5	6	8	9
1	1	10	0.1	1.1	2.0	C12/15	A240C
2	2	9	0.2	1.2	1.9	C16/20	A400C
3	3	8	0.3	1.3	1.8	C20/25	A500C1
4	4	7	0.4	1.4	1.7	C25/30	A500C2
5	5	6	0.5	1.5	1.6	C30/35	A500C1
6	6	5	0.1	1.6	1.5	C32/40	A400C
7	7	4	0.2	1.7	1.4	C35/45	A240C
8	8	3	0.3	1.8	1.3	C40/50	A400C
9	9	2	0.4	1.9	1.2	C45/55	A500C1
10	10	1	0.5	2.0	1.1	C50/60	A500C2

#### 3.2 Завдання

Необхідно виконати:

- розрахунки залізобетонної балки у лінійній та інженерно-нелінійній постановці;
- аналіз напружено-деформованого стану залізобетонної балки за двома характеристиками роботи її матеріалів;
- підбір повздожньої арматури.

#### 4 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язев, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.
2. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы. Е.Б Стрелец–Стрелецкий, А.В. Журавлев, Р.Ю. Водопьянов. Под ред. Академика РААСН, докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкого. – Издательство LIRALAND, 2019.– 154с.
3. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Ромашкина М.А., Титок В.П. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2018г. – 254 с.
4. ДБН В.1.2 - 2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. К. 2006.–75 с.
5. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К. 2009.–74 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. К. 2011.–118 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання індивідуального завдання з дисципліни

«МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА  
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ»

за темою

«Розрахунок залізобетонної балки з використанням  
системи «Інженерна нелінійність» ПК ЛІРА-САПР»

(для здобувачів вищої освіти спеціальності

192 «Будівництво та цивільна інженерія»)

(Електронне видання)

Укладачі:

Черних Олег Анатолійович

Соколенко Валерій Михайлович

Соколенко Костянтин Валерійович

Техн. редактор

Оригінал - макет

О. А. Черних

К. В. Соколенко

Підписано до друку \_\_\_\_\_

Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ . Папір типограф. Гарнітура *Times*.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. \_\_\_. Обл.-вид.арк. \_\_\_\_.

Тираж \_\_\_\_ прим. Вид. № \_\_\_\_\_. Замовл. № \_\_\_\_\_. Ціна договірна.

Видавництво СНУ ім. Володимира Даля

Адреса видавництва: Україна, 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17

Телефон: +38 (050) 218 04 78

E-mail: [izdat@snu.edu.ua](mailto:izdat@snu.edu.ua)