



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу**

**Кафедра експлуатації, надійності, міцності і  
будівництва  
ім. В.Я. Аніловича**

# **РОЗРАХУНОК БАЛКИ ПРИ ПЛОСКОМУ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГИНІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА-САПР**

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
з дисциплін "Опір матеріалів", "Будівельна механіка  
та розрахунки конструкцій на міцність "**

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
інженерних спеціальностей

Харків  
2021

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра експлуатації, надійності, міцності і  
будівництва

ім. В.Я. Аніловича

## **РОЗРАХУНОК БАЛКИ ПРИ ПЛОСКОМУ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГИНІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА-САПР**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
з дисциплін "Опір матеріалів", "Будівельна механіка  
та розрахунки конструкцій на міцність"

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
інженерних спеціальностей

Затверджено рішенням  
методичної Ради ННІ ТС  
ХНТУСГ  
Протокол №7  
від 12 травня 2021р.

Харків  
2021

**УДК 69.04+681.3**

**М-54**

Схвалено на засіданні  
кафедри експлуатації, надійності, міцності і  
будівництва  
ім. В.Я. Аніловича  
Протокол № 5 від 5 травня 2021 р.

**Рецензенти:**

**В. М. Грищенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки і міцності НТУ "ХПІ"

**С. О. Поляшенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**М-54** Розрахунок балки при плоскому поперечному згині в програмному комплексі ЛІРА-САПР: метод. вказівки до виконання практичних робіт з дисциплін "Опір матеріалів", "Будівельна механіка та розрахунки конструкцій на міцність" для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч. інженерних спеціальностей / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: , О.А.Свіргун, Є.І.Калінін, В.П.Свіргун. - Харків : [б. в.], 2021. - 23с.

У методичних вказівках розглядається технологія моделювання та чисельного аналізу конструкцій в системі автоматизованого розрахунку і проектування програмного комплексу ЛІРА - САПР. В роботі докладно викладено послідовність розрахунку балки: створення розрахункової схеми, завдання характеристик жорсткості елементів балки, завдання граничних умов, завдання навантажень, статичний розрахунок балки, перегляд і аналіз результатів розрахунку Видання призначене для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання інженерних спеціальностей

**Відповідальний за випуск (зав.каф.) : Є.І.Калінін**, д-р. техн. наук, проф.

© О.А.Свіргун, Є.І.Калінін,  
В.П.Свіргун,  
© ХНТУСГ, 2021

# РОЗРАХУНОК БАЛКИ ПРИ ПЛОСКОМУ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГІНІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА-САПР

Балка на двох опорах є типовим елементом багатьох конструкцій машин і споруд (осі і провідні мости мобільних машин, кран-балки, мостові крани, балки монтажних перекриттів, прольоти мостів і ін.).

У поперечних перетинах балки, навантаженої зосередженими силами і моментами, розподіленими навантаженнями, виникають внутрішні силові фактори: згинальний момент  $M$  і поперечна сила  $Q$ .

Напружений стан в поперечних перетинах залежить від розподілу цих внутрішніх силових факторів по довжині 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. Придбання практичних навичок у побудові епюр внутрішніх силових факторів і виконанні розрахунків на міцність при згині.

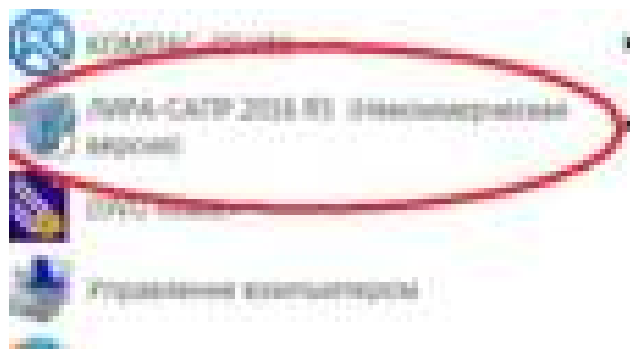
**Завдання:** Ознайомитися з призначенням основних кнопок на панелі інструментів графічного інтерфейсу ПК ЛІРА-САПР.

Виконати розрахунок балки на статичні навантаження згідно варіанту. Вивести деформовану схему, епюри зусиль ( $M$  і  $Q$ ) від розрахункових навантажень в балці. Проаналізувати отримані результати. Створити звіт по лабораторній роботі .

## Початок роботи.

Відкриваємо програму ЛІРА-САПР.

## Пуск - Програми - LIRA-SAPR - ЛІРА-САПР 2016



або



Рис.1. Запуск «ЛІРА САПР»

## 1. Створення нового файлу.



Для створення нової задачі відкрити на головній панелі інструментів натисніть кнопку **Меню Програм**  та обрати пункт **Новий Створити новий документ** (рис.2).



Рис.2. Діалогове вікно «Створення нового файлу»

В діалоговому вікні **Опис схеми** (рис. 3) задати

- ознаку схеми -2 (три ступеня вільності у вузлі X,Z,Uy);
- ім'я задачі (Балка);
- опис задачі – фамілія, номер варіанта.
- натисніть кнопку **Застосувати**  і закрийте діалогове вікно.

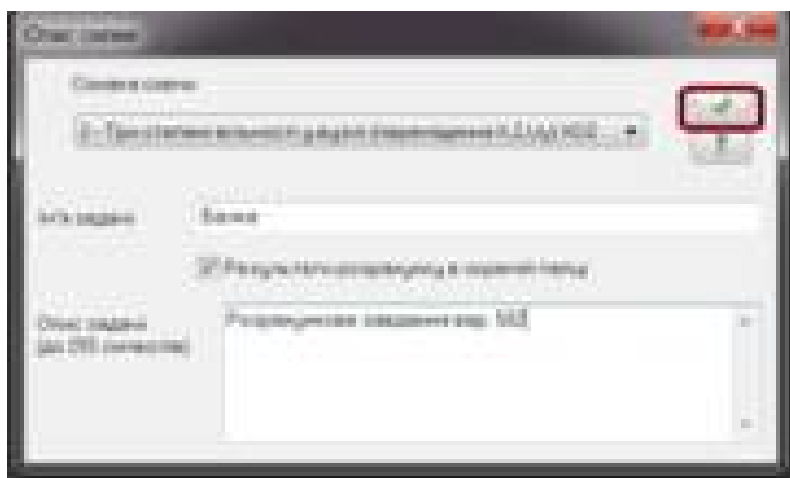


Рис 3. Діалогове вікно «Опис схеми»

2. Налаштування одиниць виміру, що використовуються в розрахунковій роботі.

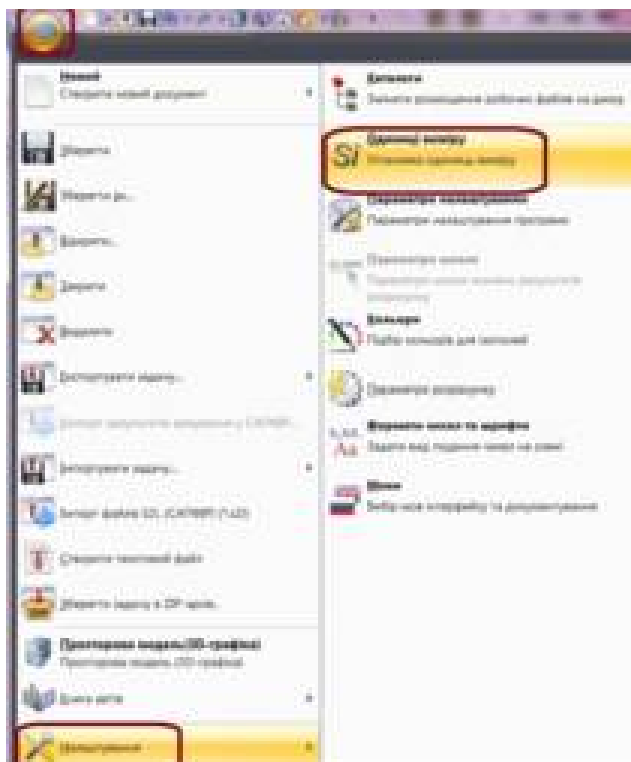


Рис 4. Діалогове вікно «Одиниці виміру»

- У вкладці **Одиниці виміру** встановіть на вкладках **Схема** і **Результати**: геометрію в метрах (м), перетини в (см), навантаження, напруження і зусилля в кілоньютонах (кН), (рис. 5).

Увага! Налаштування необхідних одиниць вимірювання може бути виконано окремо для розрахункової схеми, для результатів розрахунку і арматури. Зміна одиниць вимірювання може бути виконана на будь-якому етапі роботи з проектом.

- Натисніть кнопку **Підтвердити**.

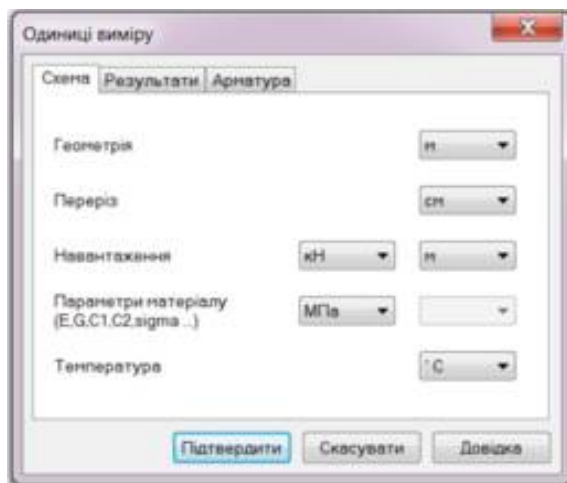


Рис 5. Діалогове вікно «Одиниці виміру»

### 3. Створення геометричної схеми балки.

Створити геометричну схему балки можна декількома способами. В цьому прикладі ми задамо положення вузлів на площині координатами X, Y, Z, які відповідають точкам прикладення навантажень та опор, та з'єднаємо їх стрижнями.

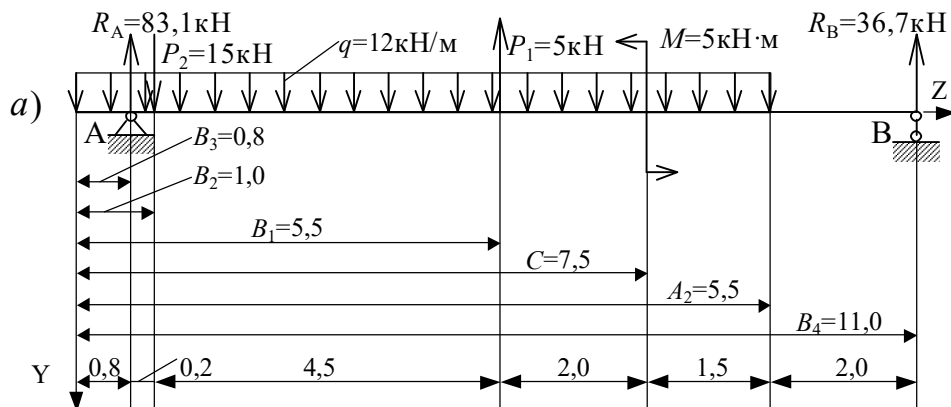


Рис.6. Геометрична схема балки

Створення та редагування - Створення – Додати вузол (рис. 7).

- Встановіть першу точку з координатами X (0), Y (0), Z (0).

- Застосувати. 

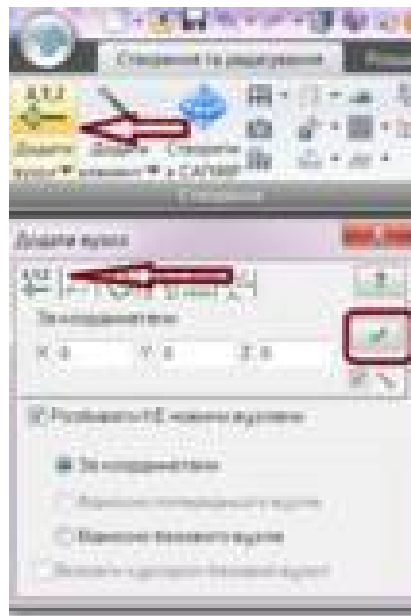


Рис.7. Діалогове вікно «Додати вузол»

За умовами приклада, який розглядається (рис.6) наступні точки матимуть координати:

X (0,8), Y (0), Z(0);

X (1), Y (0), Z(0);

X (5,5), Y (0), Z(0);

X (9), Y (0), Z(0);

X (11), Y (0), Z(0).

- З'єднати точки стрижнями.



**Додати елемент – Застосувати** (рис. 8)



Рис.8 Діалогове вікно «Додати елемент»

Для подальшої роботи потрібно перейти в площину XZ. Для цього на

панелі інструментів обираємо  , або диметрію .

Для більш зручної роботи необхідно проставити номери вузлів розрахункової схеми. Для цього на панелі інструментів внизу екрану натисніть кнопку **Параметри відображення** (прапори малювання)  , у діалоговому вікні перейдіть на вкладку **Вузли**, встановіть прапорець **Номери вузлів**  , натисніть кнопку **Перемалювати**. (Рис.9, 10)



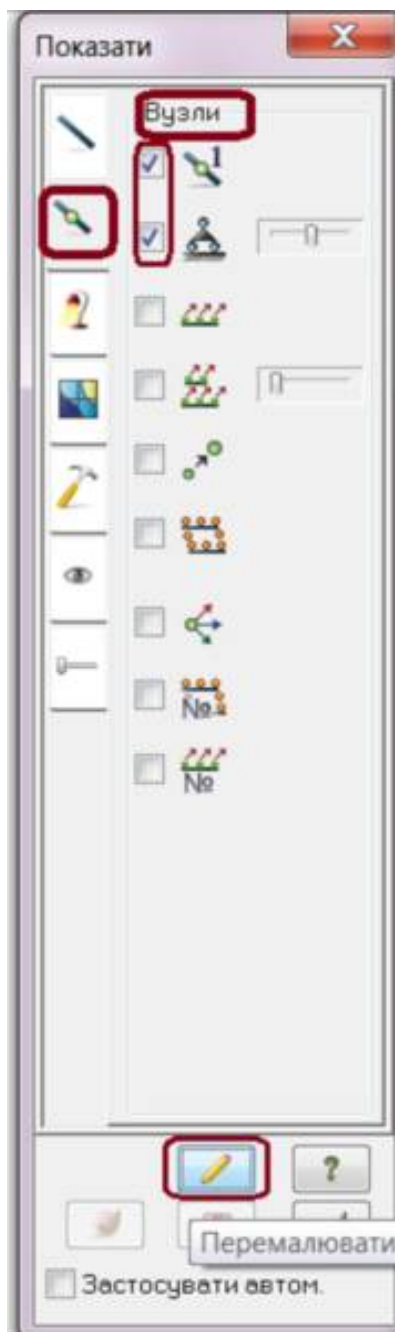


Рис.9 Діалогове вікно «Параметри відображення»

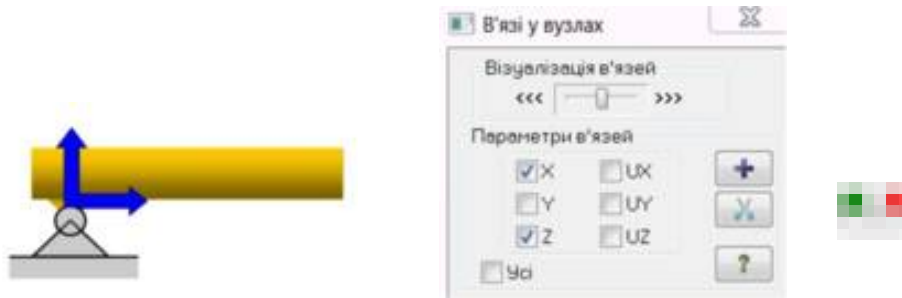


Рис.10 Нумерація вузлів

#### 4. Завдання граничних умов

Види використовуваних в роботі опор (кріплень) і опорних реакцій:

Шарнірно-нерухома опора



Шарнірно-рухома опора

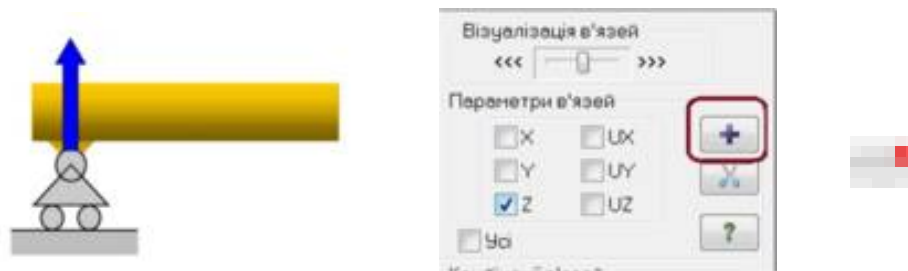



Рис.11 Задання граничних умов

Для виділення окремих вузлів натисніть на панелі інструментів кнопку **Відмітка вузлів** . Виділені вузли відобразяться червоним кольором. По черзі виділяючи вузли 2, 11 схеми.

**Створення та редагування - В'язі – Застосувати** (рис. 12)



Рис.12 Діалогове вікно «В'язі»

У діалоговому вікні **В'язі у вузлах** відзначте напрямки, за якими забороняються переміщення вузлів (X, Z, UY – для защемлення, X, Z – для шарнірно нерухомих опор, Z – для шарнірно рухомих опор) (рис.11).

## 5. Задання жорсткісних параметрів балки.


Для розрахунку необхідно поставити параметри жорсткості елементів. До цих параметрів відносяться: площі поперечних перерізів, моменти інерції перерізів, модулі пружності і зсуву.

Загальна схема завдання характеристик жорсткості така:

- вводяться числові дані характеристик жорсткості;
- кожному типу жорсткості присвоюється порядковий номер;
- один з типів жорсткості призначається поточним;
- на розрахунковій схемі позначаються елементи, яким буде присвоєна

поточна жорсткість.

Балка, яка розраховується має постійний переріз та однакову жорсткість.

На розрахунковій схемі потрібно виділити всі стрижні. Для цього на панелі інструментів обираємо **Відмітка елементів**  та виділяємо всю балку (рис.13). Вона зафарбується у червоний колір.

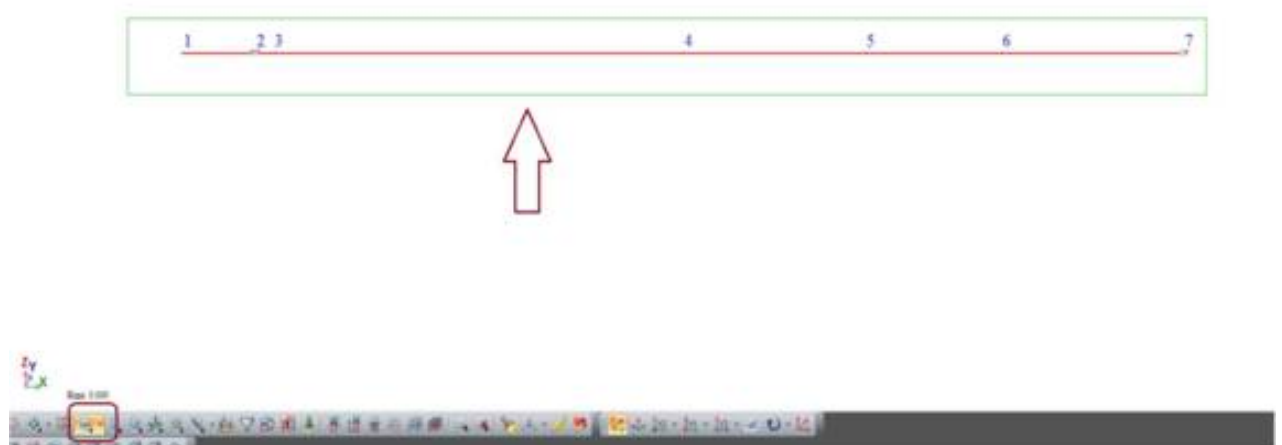



Рис 13 Виділення елементів

Для задання жорсткості на панелі **Створення та редагування** оберіть вкладку **Жорсткості та матеріали елементів**. Задання та призначення  (рис.14):

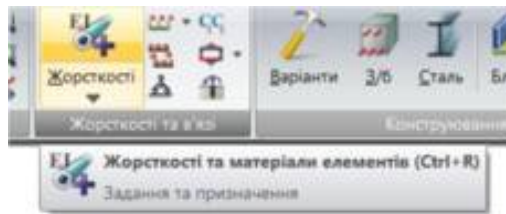


Рис.14 Діалогове вікно «Жорсткості та матеріали»

Діалогове вікно **Додати жорсткість** має три закладки графічного меню і надає доступ до бібліотеки характеристик жорсткості: стандартні типи перетинів, бази типових перетинів сталевих прокатів і вікна для завдання параметрів пластин і об'ємних елементів, а також численних характеристик жорсткості параметрів, що відповідають деяким типам скінчених елементів.

Оскільки в задачі потрібно знайти тільки зусилля, то задамо тільки одиничні жорсткості, обираючи скінчені елементи  $KE_2$  –  $KE$  плоскої рами. У відповідних полях діалогового вікна потрібно вказати параметри жорсткості:

$E_F = 1$  - жорсткість елемента на осьовий стиск (розтяг);

$E_{ly} = 1$  - жорсткість елемента на згин навколо осі  $Y_1$ ;

Обираємо:

**Жорсткості та матеріали елементів. Задання та призначення - Жорсткості та матеріали – Додати жорсткість – Типи скінчених елементів –  $KE_2$  –  $E_F = E_{ly} = 1$  – Призначити поточним – Застосувати** (рис.15)

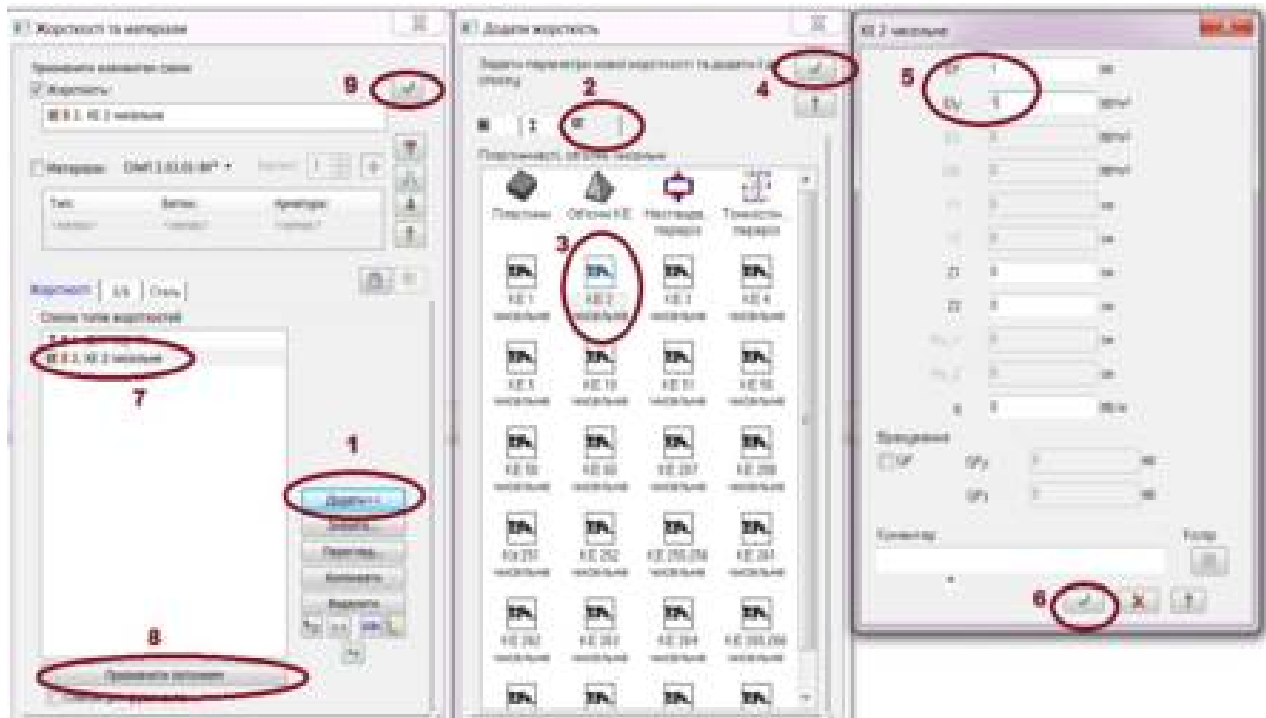


Рис.15. Задання жорсткості балки

Після правильного призначення жорсткості знімається червоне виділення – це означає, що виділеним елементам присвоєно вибраний тип жорсткості. Стрижень повинен зафарбуватись в яскраво чорний колір (рис. 16)



Рис.16

## 6. Задання навантажень

Навантаження на вузли та елементи задаються за допомогою діалогового вікна **Задання навантажень**. Діалогове вікно містить закладки для завдання навантажень на вузли, стрижні, пластини, об'ємні елементи і суперелементи, а також для завдання навантажень для розрахунку на динаміку в часі.

У вікні містяться радіо-кнопки для завдання систем координат - глобальної, місцевої (для елемента), локальної (для вузла) і напрямки впливу - X, Y, Z, а також кнопки для завдання статичного навантаження (коричневий колір), заданого зсуву (жовтий колір) і динамічного впливу (рожевий колір) - меню цих кнопок змінюється в залежності від типу завантаженого скінченного елемента. При натисканні цих кнопок викликається діалогове вікно для

завдання параметрів навантаження. Прикладені навантаження і впливи заносяться в поле списку навантажень - **Поточне навантаження**.

У нашій розрахунковій роботі навантаження мають тільки постійний характер, тому завдання різних завантажень проводитися не буде.

У діалоговому вікні **Задання навантажень** перейдіть на потрібну вкладку **Навантаження у вузлах** чи **Навантаження на стержні**.(рис.17)

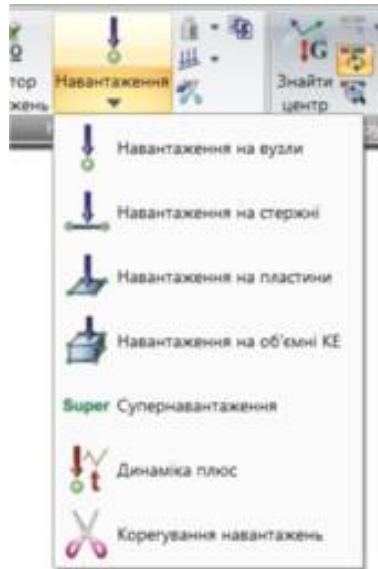


Рис.17 Діалогове вікно «Навантаження»

В нашому розрахунку для сил та моменту необхідно вибрати **Навантаження у вузлах**, а для розподіленого навантаження - **Навантаження на стержні**.

Згідно з завданням на розрахунок на вузол 3 діє сила 15кН, на вузол 4 – сила -5 кН, на вузол 5 діє згинальний момент 5 кНм.

На панелі інструментів вибираємо відмітку вузлів .

Виділяємо вузол 3. Він повинен стати червоним.

**Створення та редагування – Навантаження – Завдання навантажень – навантаження у вузлах – Тип навантаження – Значення – Застосувати** (рис.18).

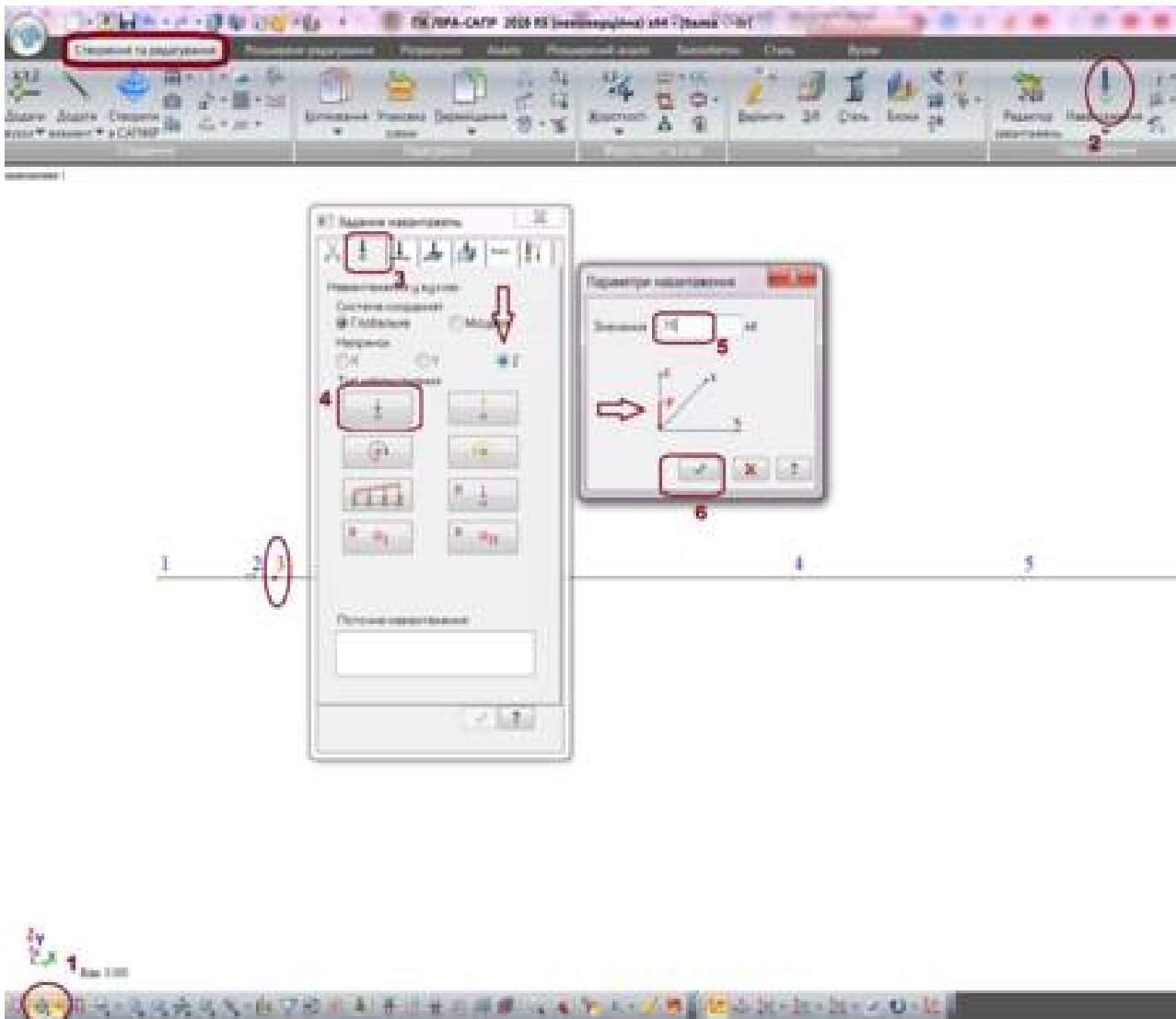


Рис. 18 Навантаження. Сила

Увага! В комплексі ЛІРА САПР вісь **X** показана зеленим кольором, вісь **Y** - синім кольором, а вісь **Z** - червоним.


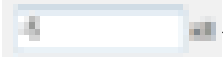

Глобальна система координат **XYZ** - завжди права декартова - служить для опису координат вузлів всієї схеми, для визначення напрямку ступенів свободи, ідентифікації переміщень вузлів. Розрахункова схема розташовується завжди в цій системі координат.

Загальне правило орієнтації місцевої системи координат для елементів з двома і більше вузлами таке: вісь **X1** спрямована від першого вузла до другого. Ця система координат необхідна для завдання орієнтації місцевого навантаження, напрямків головних осей інерції перерізу, зусиль і напружень,

що виникають в елементі.

Додатне значення сили показано на схемі параметрів навантаження.

Виділяємо вузол 4.

Створення та редагування – Навантаження - Завдання навантажень – навантаження у вузлах – Тип навантаження (  ) – Значення (  )– Застосувати (  )

Виділяємо вузол 5.

Створення та редагування – Навантаження - Завдання навантажень – навантаження у вузлах - Напрямок – Тип навантаження – Значення– Застосувати (рис. 19)

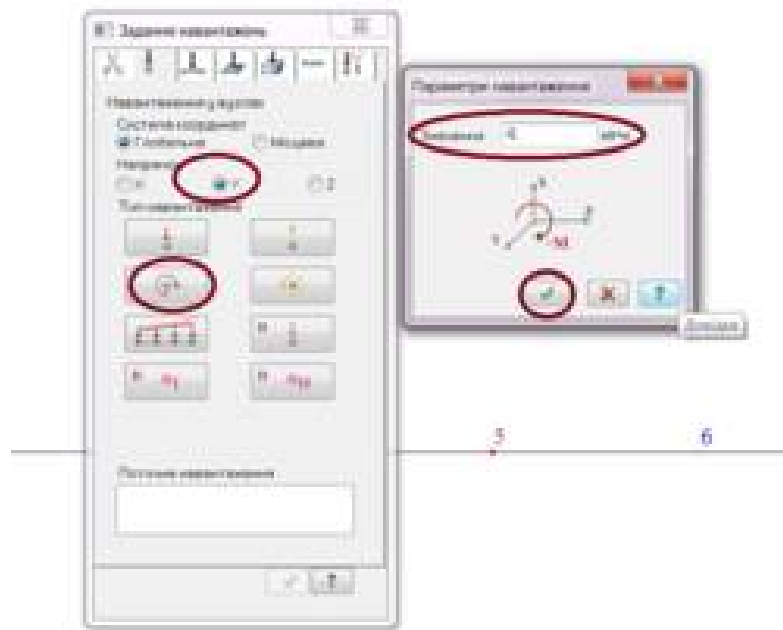




Рис.19 Навантаження. Момент

Зверніть увагу! При завданні моменту обираємо глобальну систему координат, вісь Y!

а стрижні 1-5 діє розподілене навантаження інтенсивністю 12 кН/м.

На панелі інструментів обираємо установки параметрів відображення .

В діалоговому вікні **Показати** перейдіть на першу закладку **Елементи** і встановіть відмітку **Номери елементів**. Після цього натисніть на кнопку – **Перемалювати**  Таким же чином знімаємо відмітку вузлів та добавляємо позначення величин навантажень. (рис.20).



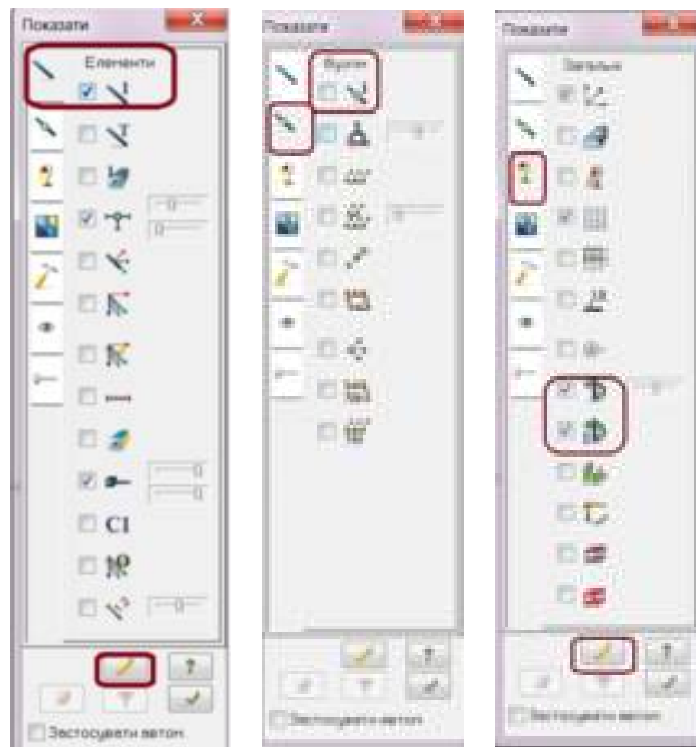


Рис.20 Діалогове вікно «Елементи. Вузли. Загальні параметри».


Розподілене навантаження в нашому завданні діє на стрижні 1-5. На панелі інструментів вибирати відмітку горизонтальних стрижнів . Виділіть на схемі стрижні 1, 2, 3, 4, 5 до яких прикладене розподілене навантаження  $q = 12\text{кН/м}$  (в системі ЛПРА-САПР позначення  $P$ ).



Рис. 21. Виділення елементів

**Створення та редагування – Навантаження - Завдання навантажень – навантаження на стержні - Напрямок – Тип навантаження – Значення– Застосувати (рис. 22).**

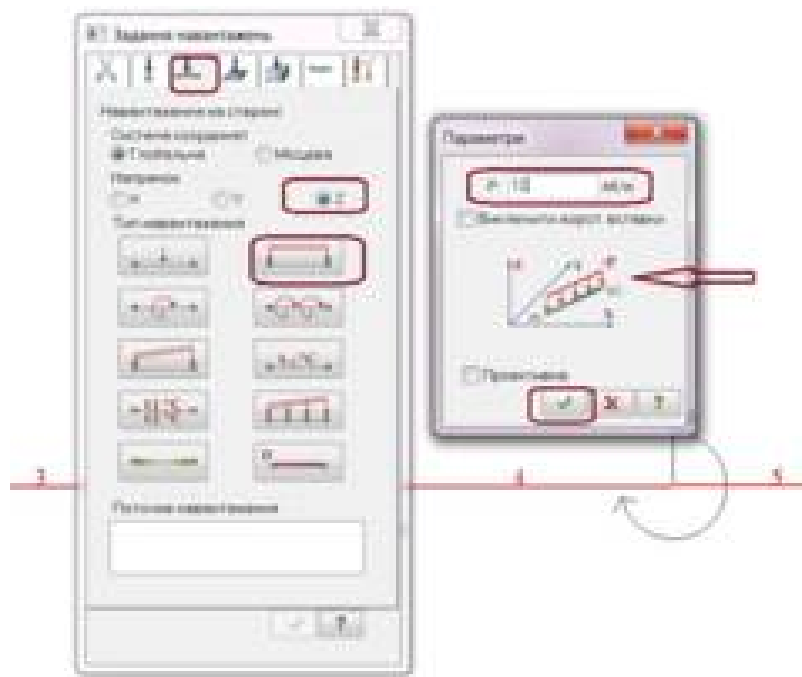


Рис.22 Діалогове вікно «задання розподіленого навантаження»

Розрахункова схема балки виконана.

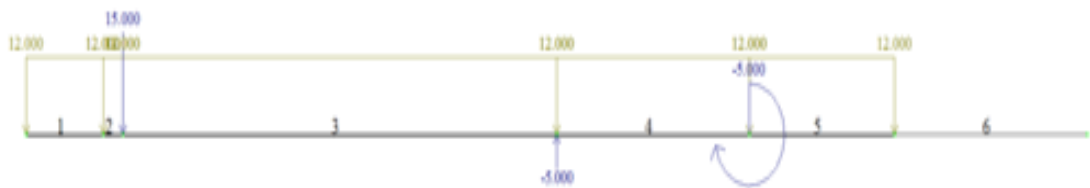



Рис.23 Розрахункова схема в ЛІРА-САПР

## 7. Збереження інформації.

Для збереження інформації обираємо  на панелі швидкого доступу або

**Меню програми – Зберегти** (рис. 24).

## 8. Статичний розрахунок

Запустіть завдання на розрахунок за допомогою кнопки  або

**Розрахунок - Виконати повний розрахунок** (рис. 25).

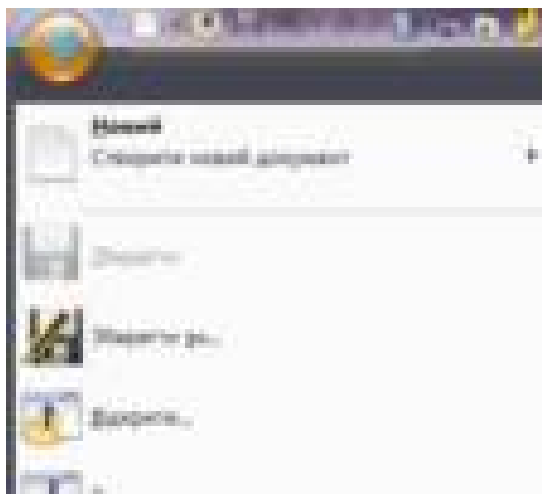


Рис.24. Діалогове вікно «Збереження результатів»

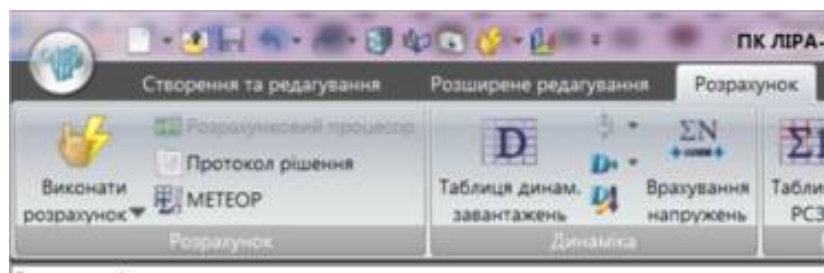


Рис.25. Діалогове вікно «Розрахунок»

## 9. Перегляд і аналіз результатів розрахунку

Після виконання розрахунку завдання перейдіть у вкладку **Аналіз** (рис.26)

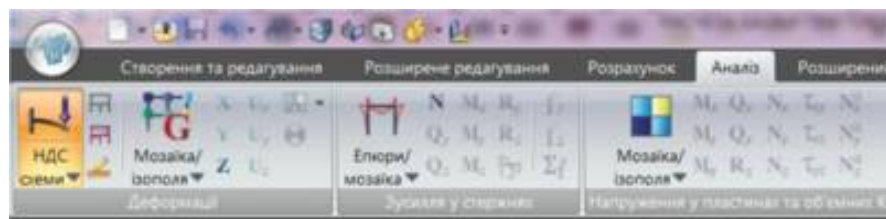




Рис.26. Вкладка «Аналіз»

У режимі перегляду результатів розрахунку за замовчуванням відображається деформована розрахункова схема. Для зняття відображення деформацій натисніть на **Вихідна схема** .

На панелі інструментів обираємо установки параметрів відображення . В діалоговому вікні **Показати** перейдіть на четверту закладку **Значення**.


Встановлюємо **Значення на епюрах, Показати епюри зі штриховкою** (рис. 27). Після цього натисніть на кнопку – **Перемалювати** .



Рис.27. Діалогове вікно «Показати. Значення»

Виведіть на екран епюри поперечних сил  $Q_z$ , та моментів  $M$  (рис. 28, 29).



Рис.28. Результати. Епюра поперечних сил.



Рис.29. Результати. Епюра моментів.

## 10. Звіт.

Формування таблиць результатів розрахунку.

Документація – Інтерактивні таблиці – Зусилля (стрижні) – Застосувати - Створення таблиці елементів – Для всіх елементів – Для всіх завантажень – Застосувати – Зусилля – Файл - У звіт – Файл - Зберегти (рис. 30)

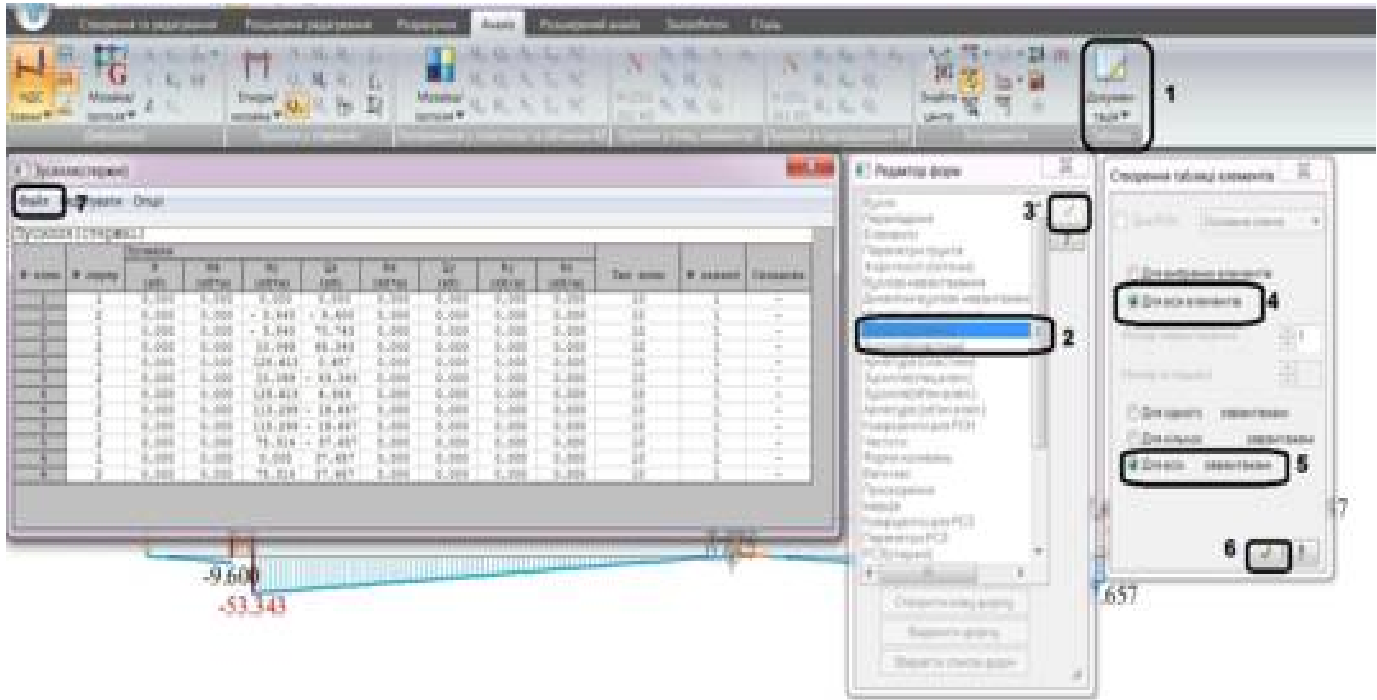



Рис.30. Таблиця результатів

Відкривається нова таблиця «Зусилля в стержнях» (рис.31). Зберігаємо

ii.

# елем.	# запер.	ЗУСИЛЛЯ									Тип елем.	# завант.	Складова
		Fx (кН)	Fy (кН/м)	Fz (кН/м)	Qx (кН)	Qy (кН/м)	Qz (кН)	Rx (кН/м)	Ry (кН/м)	Rz (кН/м)			
1	1	0,000	0,000	0,000	-0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
1	2	0,000	0,000	-3,840	-9,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
2	1	0,000	0,000	-3,840	70,743	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
2	2	0,000	0,000	10,069	68,343	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
3	1	0,000	0,000	128,613	0,457	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
3	2	0,000	0,000	10,069	-53,343	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
4	1	0,000	0,000	128,613	4,343	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
4	2	0,000	0,000	113,299	-19,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
5	1	0,000	0,000	118,299	-19,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
5	2	0,000	0,000	75,314	-37,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
6	1	0,000	0,000	0,000	37,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-
6	2	0,000	0,000	75,314	37,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10	1	-

Рис. 31. Таблиця результатів

Для отримання результатів розрахунку реакцій опор скористаємося розрахунком навантажень на фрагмент. Для розрахунку відмічаємо  вузли, в яких повинне бути розраховане навантаження (2 та 7) та стержні, які до цих вузлів (1,2,6). (рис.32)

**Розширений аналіз – Розрахунок навантажень на фрагмент – оновити – Виконати розрахунок (рис.33).**



Рис.32. Відмітка елементів балки

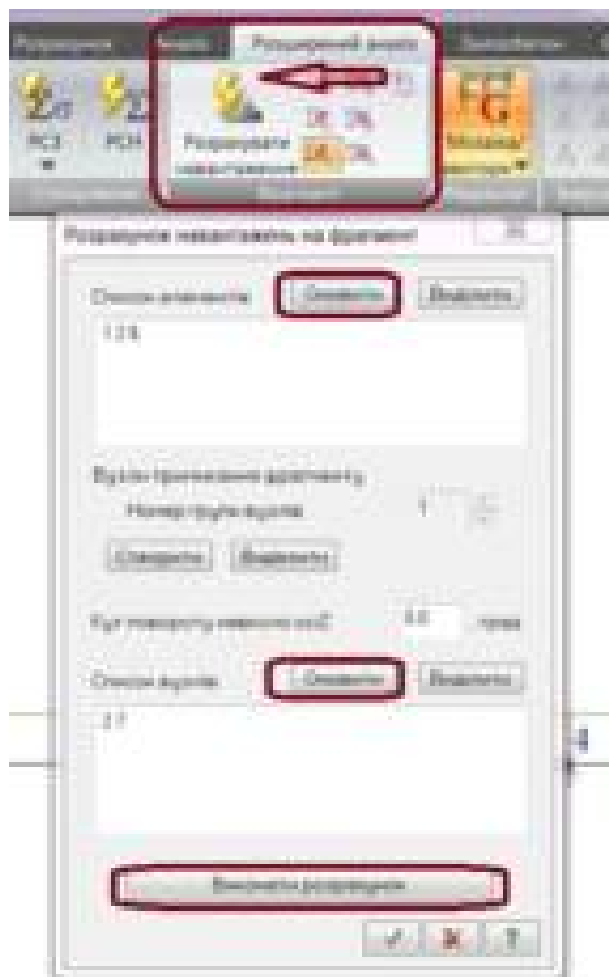


Рис.33. Діалогове вікно «Розрахунок навантажень на фрагмент»

Результат можна отримати мозаїкою навантажень на фрагмент (рис.34) або таблицею.



Рис.34. Мозаїка навантажень на фрагмент

Для створення таблиці переходимо до вкладки **Аналіз**.

**Аналіз – Документація – Стандартні таблиці – Навантаження на фрагмент – Застосувати** (рис.35).

Відривається вікно результатів (рис. 36). Зберігаємо результати у файл.

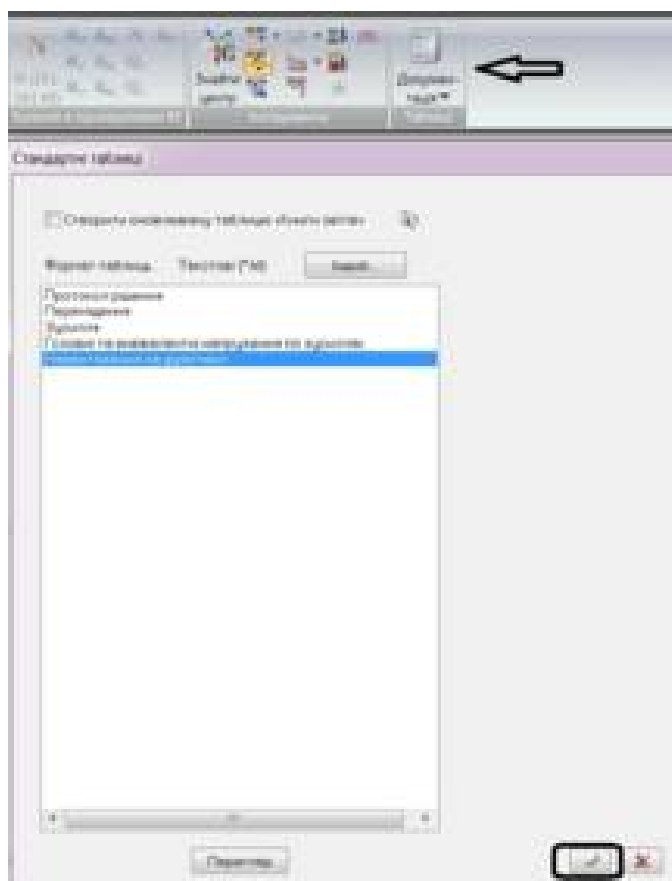


Рис.35. Діалогове вікно «Стандартні таблиці»

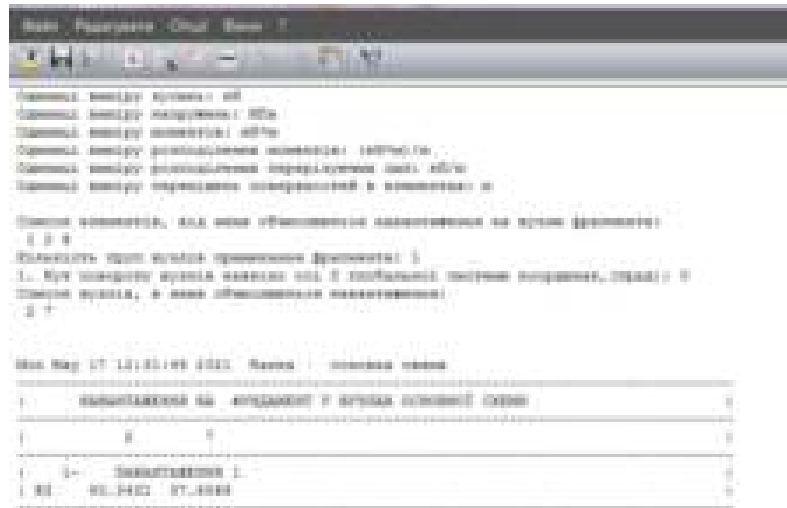


Рис. 36. Вікно результатів

Щоб зберегти графічне представлення результатів розрахунку натисніть кнопку **Копія вікна** на боковій панелі **Книга звітів** (рис.34)

## 11. 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.



## 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.

# **РОЗРАХУНОК БАЛКИ ПРИ ПЛОСКОМУ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГИНІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА-САПР**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
з дисциплін "Опір матеріалів", "Будівельна механіка  
та розрахунки конструкцій на міцність"

**Укладачі:**

**СВІРГУН Ольга Анатоліївна,  
КАЛІНІН Євген Іванович,  
СВІРГУН Володимир Петрович**

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір для цифрового друку. Друк принтерний.  
Умов. друк. арк. 1,35  
Наклад 100 примірників.