

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва**

**“Підбір перерізів елементів сталеві ферми  
в ПК “ЛІРА-САПР”**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних занять з дисципліни**

**" Комп'ютерні технології проєктування  
будівельних об'єктів "**

**для магістрів спеціальності  
192 Будівництво та цивільна інженерія**



**Кропивницький 2023**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва**

**"Підбір перерізів елементів сталеві ферми  
в ПК ЛІРА-САПР"**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних занять з дисципліни**

**" Комп'ютерні технології проєктування  
будівельних об'єктів "**

**для магістрів спеціальності  
192 Будівництво та цивільна інженерія**

**Затверджено**  
на засіданні кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва.

**Протокол № 1 від 25.08.2023**

**Кропивницький 2023**

УДК 624.04: (075.8)

Підбір перерізів елементів сталеві ферми в ПК ЛІРА-САПР . Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни "Комп'ютерні технології проектування будівельних об'єктів" для магістрів спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» / Укл.: Г.Д. Портнов, В.В. Яцун, В.В. Дарієнко – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 83 с.

Дані методичні вказівки написані в розвиток вказівок з виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Комп'ютерні технології проектування будівельних об'єктів». Вказівки містять детальне викладення порядку підбору перерізів стержнів легких сталевих кроквяних ферм із парних кутників за допомогою обчислювального комплексу ЛІРА-САПР. Окрім виконання лабораторних робіт, вони можуть використовуватися при виконанні кваліфікаційних магістерських робіт проектного та науково-дослідницького характеру.

Укладачі – к.т.н., доцент Портнов Г.Д.,

к.т.н., доцент Яцун В.В.,

к.т.н., доцент Дарієнко В.В.

Рецензент – д.т.н., професор Пашинський В.А.

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва, професор Настоящий В.А.

© ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8

© Портнов Г.Д., Яцун В.В., Дарієнко В.В.

## **Вступ**

В даний час одним з доступних для використання в навчальному процесі програмних засобів для проектування будівельних конструкцій є обчислювальний комплекс ЛПРА-САПР.

Комплекс ЛПРА-САПР реалізований як інтегрована система аналізу міцності та проектування конструкцій на основі методу скінчених елементів. Він дозволяє аналізувати напружено-деформований стан будівельних конструкцій різних видів при статичних та динамічних впливах, а також виконувати ряд проектних розрахунків елементів будівельних конструкцій.

Сталеві кроквяні ферми є поширеною конструктивною формою, тому автоматизація їх проектування є актуальним завданням. Значну частину часу інженера-проектувальника при проектуванні сталевих ферм займають розрахунки, пов'язані з визначенням зусиль в елементах конструкції та з підбором перерізів стержнів згідно з вимогами норм проектування ДБН В.2.6-163:2010 "Сталеві конструкції".

Дані методичні вказівки призначені для ознайомлення з використанням ЛПРА-САПР та практичного використання здобувачами вищої освіти при підборі перерізів стержнів сталевих ферм на прикладі двоскатної ферми з парних кутників.

Методичні вказівки містять покрокові інструкції з порядку визначення зусиль і підбору перерізів стержнів у середовищі ЛПРА-САПР, проілюстровані копіями екрану, отриманими у процесі розрахунку прикладу кроквяної ферми.

### **1. Загальний порядок обрання перерізів ферми**

Розрахунок ферми в середовищі ЛПРА-САПР починається з того, що для прийнятої розрахункової схеми в першому наближенні задають передбачувані перерізи елементів конструкції.

Після визначення розрахункових зусиль виконується перевірка і підбір перерізів металопрокату. Якщо результати перевірки не задовільні, необхідно замінити перерізи за алгоритмом, реалізованим у програмі, і перерахувати задачу з

подальшою перевіркою перерізів. У деяких випадках може знадобитися кілька таких ітерацій, щоб домогтися прийняттого результату. За необхідності, перерізи обирає проєктувальник на його розсуд із подальшою експертизою конструкції.

Під час компонування стрижнів ферм необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Перетини поясів слід виконувати постійними або змінювати не більше одного разу у фермах прольотом 24 м і більше, за менших прольотів перетин поясів змінювати не рекомендується.

2. Не слід використовувати в одній конструкції ферми перерізи стрижнів одного розміру, але різних марок сталей. Товщини елементів одного габариту повинні відрізнятися не менше, ніж на 2 мм.

3. Для зручності замовлення прокату кількість калібрів профілів, що застосовуються у фермі, обмежують: за прольоту ферми  $L \leq 36$  м приймають 5...6 різних профілів, а за прольоту  $L > 36$  м - 6...8.

4. Для запобігання пошкодженню стрижнів під час транспортування і монтажу, а також за умови забезпечення якості зварювання і підвищення корозійної стійкості, мінімальний профіль кутників для ферм зазвичай призначають: рівнополочних 50×5 мм, нерівнополочних 63×40×5 мм. У дуже легких фермах допускається використання кутиків меншого перерізу, але з товщиною полиці не менше 4 мм, що дає змогу виконати зварний шов уздовж пера куточка катетом 3 мм.

5. Різниця в товщині фасонки між двома сусідніми вузлами не повинна перевищувати 2 мм (в окремих випадках не більше 4 мм).

6. Для зниження витрати сталі доцільно найбільш навантажені елементи ферм (пояси, опорні розкоси) проєктувати зі сталі підвищеної міцності, а інші елементи - зі звичайної маловуглецевої сталі. Стержні легких ферм за відсутності динамічних навантажень працюють у відносно сприятливих умовах, тому для них слід застосовувати сталі напівспокійної виплавки. Фасонки ферм працюють у складних умовах (плоский напружений стан з розтягувальними напруженнями, наявність зварювальних напружень, концентрація напружень поблизу швів). Це підвищує небезпеку крихкого руйнування і вимагає застосування більш якісної спокійної сталі.

## **2. Вихідні дані**

Об'єкт сільськогосподарського будівництва.

Призначення - кроквяна ферма виробничої будівлі.

Тип будівлі - опалювальна.

Клас відповідальності СС2.

Простір ферми використовується для прокладання комунікацій.

Довжина прольоту ферми - 12 м.

Ухил ската ферми - 10%.

Вузли спирання ферми на колони шарнірні, розрахункова схема зовні статично визначена.

Конструкція покриття - прогони, профільований лист, утеплювач, ПВХ мембрана.

Число панелей верхнього пояса 6.

Розкріплення по нижньому поясу - є.

Навантаження від підвісного обладнання та комунікацій - (кабелі, вентиляція, підвісна стеля);

Матеріал конструкції: кутики - сталь С245, фасонки - сталь С255 за ГОСТ 27772-88\*.

## **3. Проектування ферми**

Найчастіше застосовують трикутну решітку з додатковими стійками, оскільки її загальна довжина і число вузлів менші, ніж у розкісної решітки, а додаткові стійки зменшують панель ферми. У цій конструкції стійки не потрібні для геометричної незмінності ферми.

Генеральними розмірами ферми є її проліт і висота. Оптимальна висота в середині прольоту полігональної ферми визначається умовами мінімуму ваги, необхідної жорсткості (прогином), а також можливістю раціонального транспортування.

Мінімум ваги таких ферм виходить приблизно за рівності ваги поясів і ваги решітки (з фасонками), що має місце за відношення висоти ферми до її прольоту приблизно  $1/8$ . Така висота ферм цілком задовольняє необхідну жорсткість (прогини виходять менше  $1/250$ ).

Для перевезення залізницею потрібен габарит конструкції: по вертикалі - не більше 3,8 м; по горизонталі - 3,2 м.

3.1 Приймаємо висоту ферми 1,5 м.

3.2 За умовами обпирання приймаємо ферму з обрисом поясів "Трикутна зі зниженим нижнім поясом".

3.3 Конструктивну схему ферми представлено на рисунку 1.

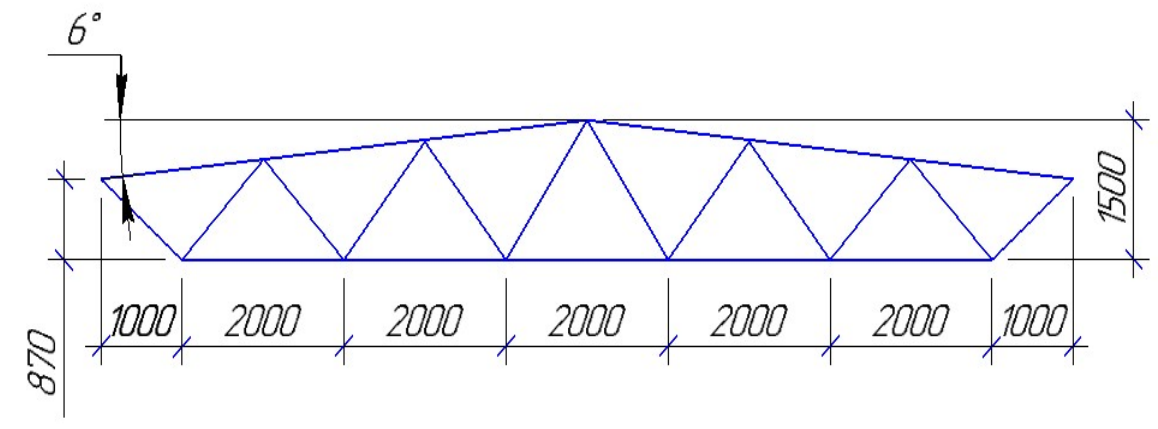


Рис. 1 Конструктивна схема ферми



Конструктивне рішення вузлів сполучення розкосів із поясами представлено на рисунку 2.

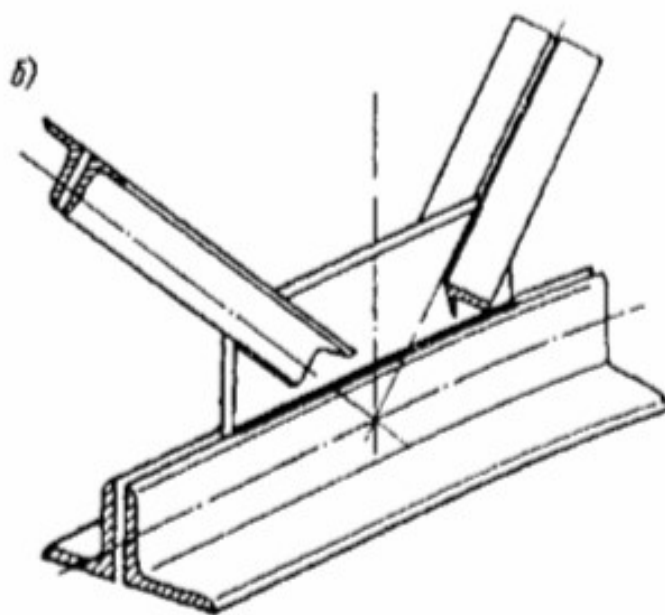
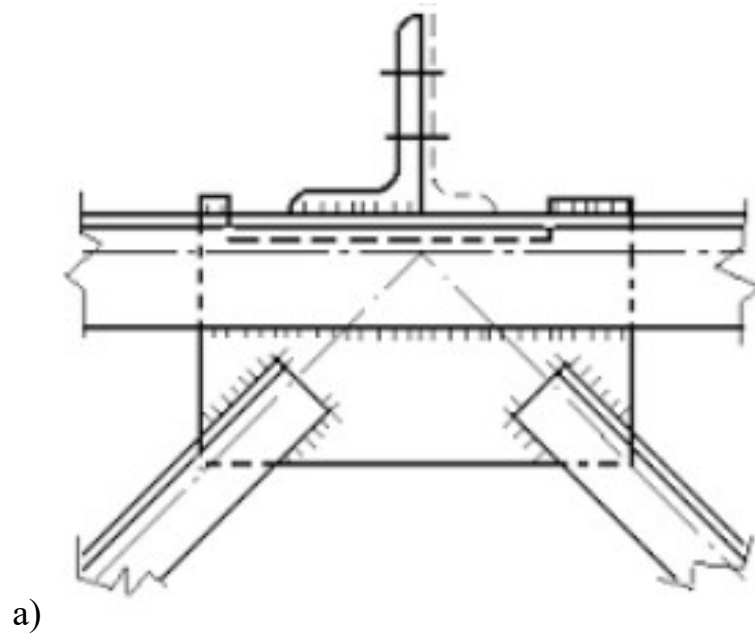


Рис.2 Сполучення розкосів - а) з верхнім поясом, б) з нижнім поясом.

Конструктивне рішення опорного вузла на рисунку 3.

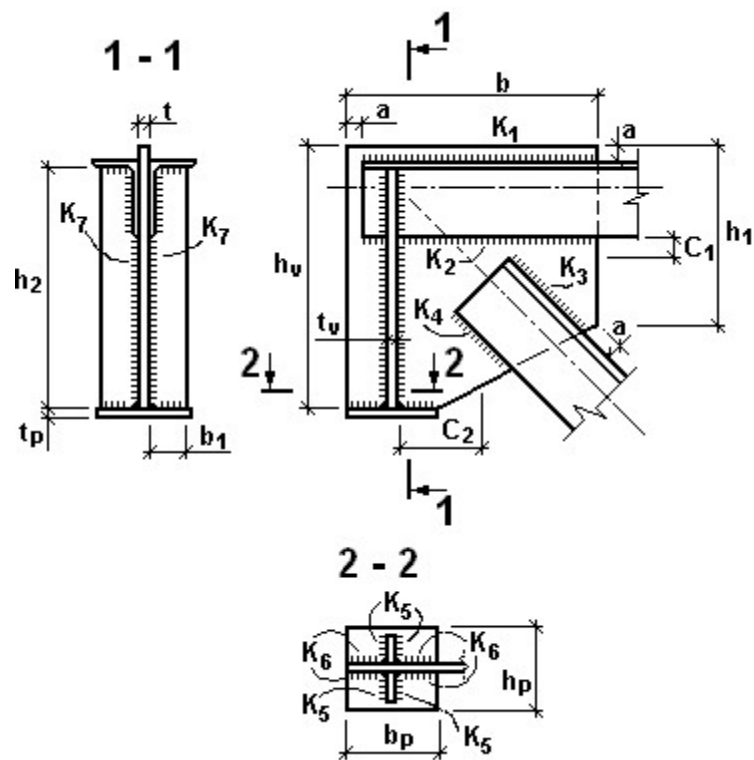


Рис.3 Опорний вузол

Конструктивне рішення сполучення опорного вузла ферми з колоною представлено на рис.4.

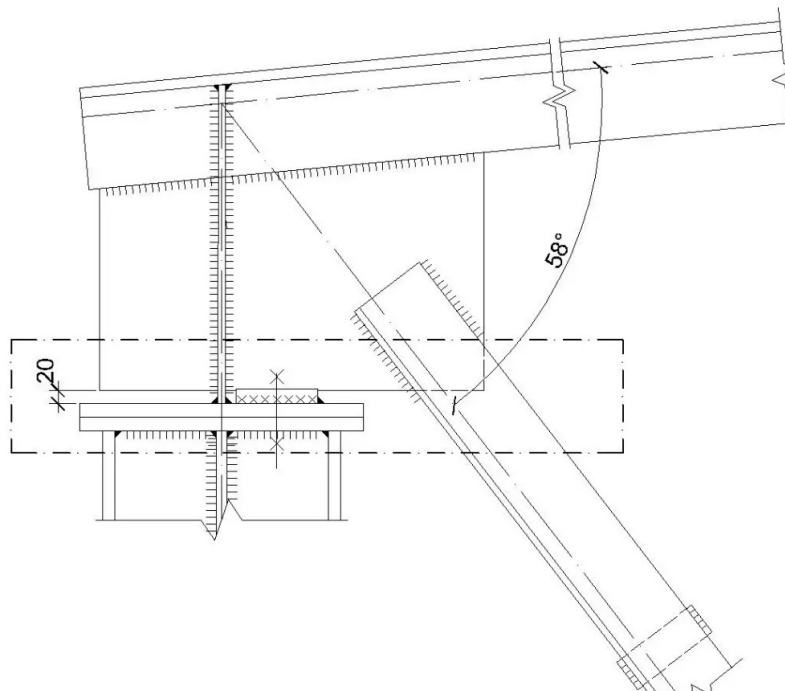


Рис.4 Сполучення опорного вузла ферми з колоною

## 4. Збір навантажень на ферму

Програмним комплексом автоматично (за замовчуванням) генеруються параметри, що відповідають поточному виду завантаження. Однак, користувач може на свій розсуд змінити будь-який із параметрів.

### 4.1 Коефіцієнти формувань завантажень

1. Коефіцієнти надійності за навантаженням  $k_f$ , що формуються за замовчуванням, мають такі значення:

- ☐ постійні завантаження  $k_f = 1.1$ ;
- ☐ тимчасові тривалі  $k_f = 1.2$ ;
- ☐ короткочасні  $k_f = 1.2$ ;
- ☐ - миттєві  $k_f = 1.4$ ;
- ☐ - особливі  $k_f = 1.0$ .

При формуванні завантажень використовуються розрахункові значення навантажень.

Коефіцієнти надійності за навантаженням служать для переходу від розрахункових зусиль до нормативних.

При цьому отримані розрахункові сполучення зусиль використовуються системами, що конструюють, під час розрахунку за першим граничним станом, а нормативні сполучення зусиль - під час розрахунку за другим граничним станом.

2. *Частка тривалості  $\Psi_g$* . Коефіцієнт, що показує, яку частину навантаження в розглянутому завантаженні приймають як тривало діючу. За замовчуванням генеруються такі значення:

- ☐ постійні і тривало діючі завантаження  $\Psi_g = 1.0$ ;
- ☐ короткочасні  $\Psi_g = 0.35$ ;
- ☐ кранові завантаження  $\Psi_g = 0.6$ ;
- ☐ інші завантаження  $\Psi_g = 0.0$ ;

## 4.2 Власна вага ферми

Вага елементів ферми підраховується автоматично при натисканні відповідної кнопки на панелі інструментів.

## 4.3 Ваг конструкцій покриття

Вага конструкцій покриття передається через вузли верхнього пояса ферми, крок прогонів - 2 м, проліт прогонів 6 м. Схему завантаження ферми від ваги покриття подано на рис. 5, де вказані характеристичні значення вузлових навантажень. Відповідно до прийнятої за замовчуванням у ЛІРА-САПР системою одиниць, навантаження виражені в тоннах і кілограмах сили.

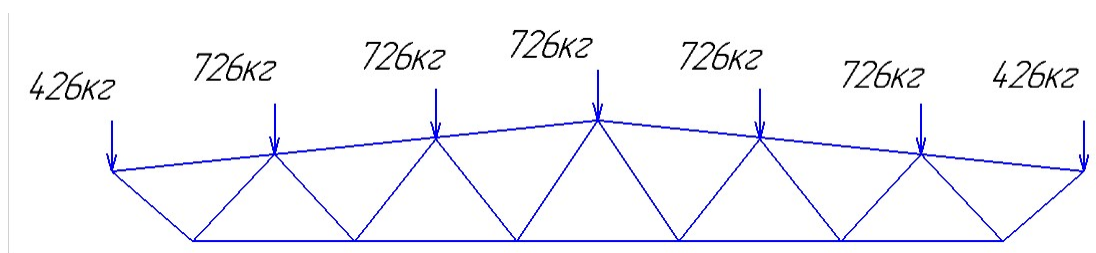


Рис.5 Схема завантаження ферми від ваги покриття

#### 4.4 Снігове навантаження

Граничне розрахункове значення снігового навантаження визначається відповідно до вказівок [1].

Снігове навантаження передається через прогони у вузли ферми. Складена з урахуванням прольотів і кроків прогонів схема завантаження граничними розрахунковими значеннями снігового навантаження представлена на рис. 6.

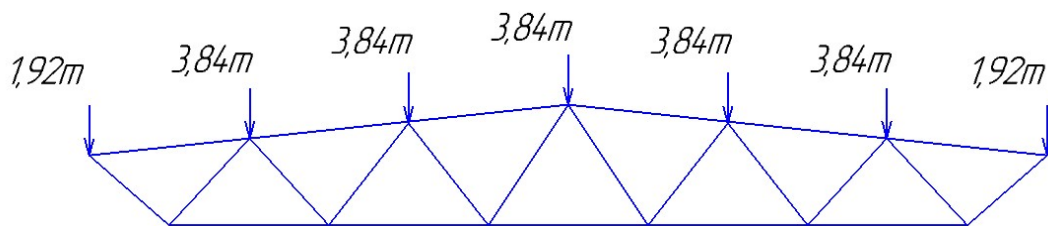


Рис. 6 Схема завантаження ферми від снігового навантаження

#### 4.5 Корисне навантаження

Схему завантаження ферми від нормативного значення ваги обладнання, що підвішується, подано на рис. 7.

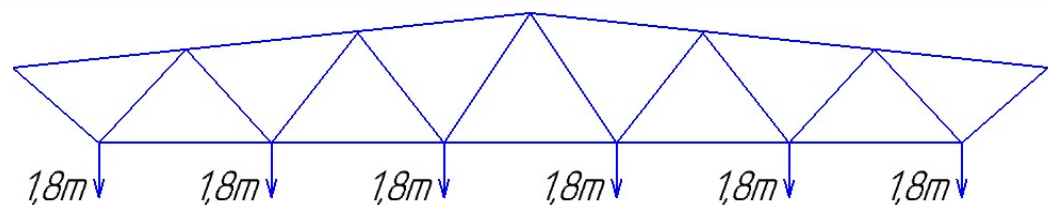


Рис. 7 Схема завантаження ферми від ваги підвішуваного обладнання

Під час розрахунків за першим граничним станом враховуються граничні розрахункові значення навантажень. Для кожного виду навантаження, наприклад, снігового і ваги перекриття, передбачено різні коефіцієнти надійності за граничним розрахунковим значенням навантажень, і в програмі їх потрібно задати окремо.

## 5. Створення комп'ютерної моделі

Запускаємо ЛІРА САПР, створюємо новий проект. Для створення нового завдання відкрийте меню *Додатки - Створити новий документ*. У діалоговому вікні, що з'явилося *Опис схеми* задайте такі параметри: ім'я створюваної задачі (шифр задачі за замовчуванням збігається з ім'ям задачі); у випадаючому списку вибираємо *Ознака схеми*.

### 5.1 Вибір типа схеми

Пропонується використовувати схему **5 — «П'ята ознака схеми»**. Створюється 3D модель. Навантаження може бути прикладено у всіх площинах. Схема може містити як шарнірні, так і жорсткі вузли. Під час створення розрахункової схеми ферми необхідно закріплювати вузли від повороту і зміщення в опорних вузлах, а також у вузлах розкріплень за поясами (прогони).

В меню *Додатки* у випадаючому списку пункту *Налаштування* оберіть команду – *Одиниці виміру* і призначте одиниці виміру основних величин (зміна одиниць виміру може бути виконана на будь-якому етапі роботи з проєктом).

The screenshot shows the 'Units of measurement' dialog box with the 'Schema' tab selected. The dialog has three tabs: 'Schema', 'Results', and 'Reinforcement'. The 'Schema' tab contains the following settings:

Parameter	Unit 1	Unit 2
Геометрія	м	
Переріз	см	
Навантаження	т	м
Параметри матеріалу (E, G, C1, C2, sigma ...)	МПа	
Температура	°C	

At the bottom, there are three buttons: 'Підтвердити' (highlighted with a blue border), 'Скасувати', and 'Довідка'.

The screenshot shows the 'Units of measurement' dialog box with the 'Results' tab selected. The dialog has three tabs: 'Schema', 'Results', and 'Reinforcement'. The 'Results' tab contains the following settings:

Parameter	Unit 1	Unit 2
Переміщення, осадка	мм	
Напруження	МПа	
Зусилля	кН	м

At the bottom, there are three buttons: 'Підтвердити' (highlighted with a blue border), 'Скасувати', and 'Довідка'.

**Норми проектування:** обираємо «ДБН».

В меню *Додатки* у випадаючому списку пункту *Налаштування* оберіть команду – *Параметри розрахунку – Конструювання*:

×

Параметри розрахунку

Статика та динаміка

**Конструювання**

З/б розрахунок

Додатково

Сталевий розрахунок

Підбір

Коефіцієнти за навантаженням

Сейсміка

Норми для РСЗ

ДБН В.1.2 - 2:2006

Норми для РСН

ДБН В.1.2 - 2:2006

Норми для з/б:

ДБН В.2.6-98:2009

Коефіцієнти до зусиль

Середній коеф. надійності по навантаженню (не менше 1)	1.15
Середня частка тривалості (не більше 1)	1.00
Понижувачий коеф. для моментів при продавлюванні (не більше 1)	0.50

Норми для сталі:

ДБН В.2.6-198:2014

Норми для кладки:

ДБН В.2.6-162

Розрахунок перерізів по:

РСН

Зміна цих параметрів вплине на всі створювані згодом варіанти конструювання схеми і збережеться після перезапуску програми

Щоб змінити параметри для поточного варіанта конструювання, скористайтесь командою «Варіанти конструювання основної схеми» в меню «Редагування».

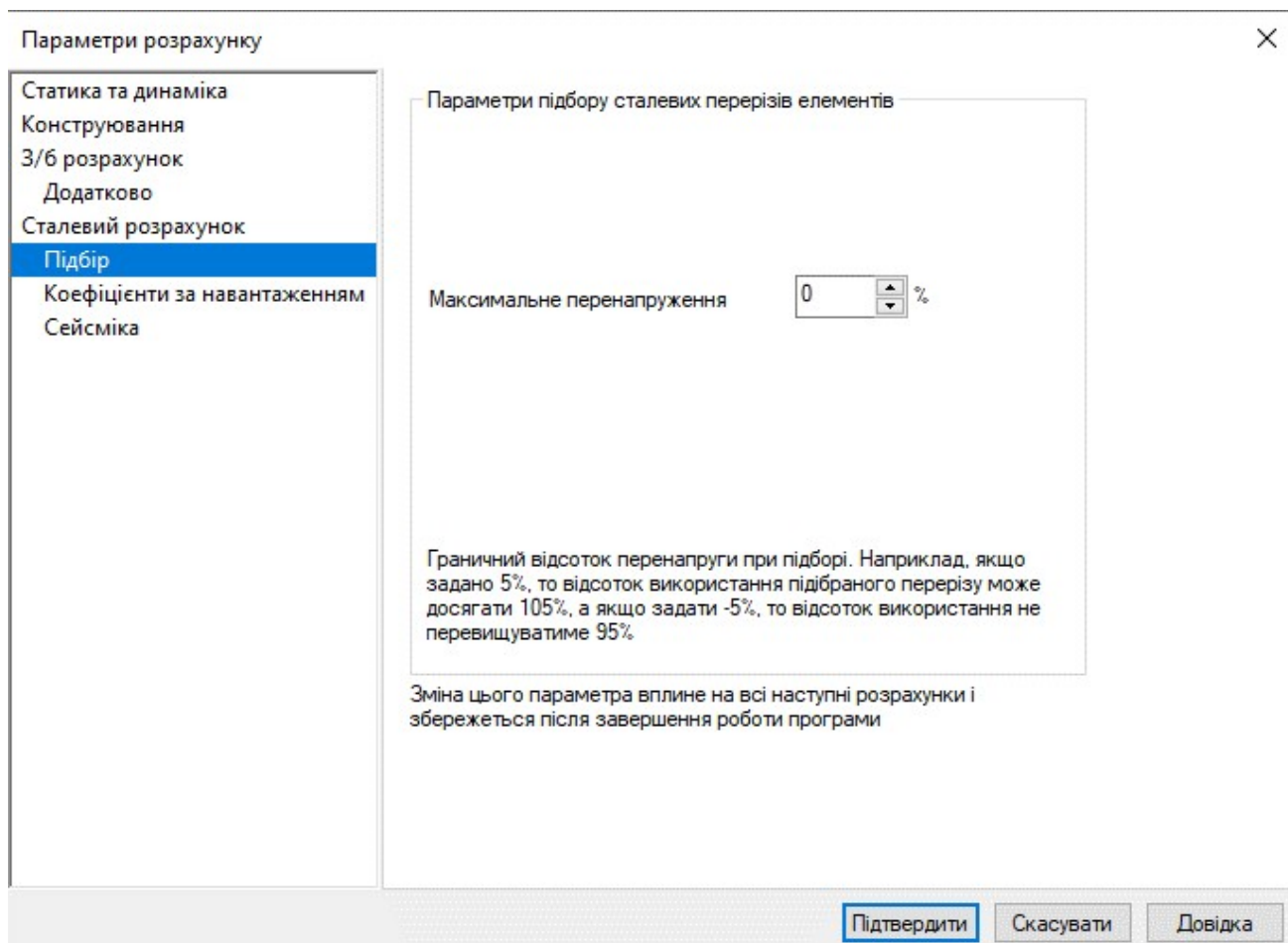
Підтвердити

Скасувати

Довідка

**Сталевий розрахунок – Підбір:**





Після створення файлу приступаємо до створення розрахункової схеми.

Створити розрахункову схему в ЛІРА-САПР можна багатьма способами: генерація стандартних конструкцій та їхня модифікація, створення точок у просторі та з'єднання їх у розрахункову схему, імпорт з AutoCad. Створюємо ферму на основі стандартних схем.

У діалоговому вікні **Генерація ферм** необхідно вибрати необхідну конфігурацію ферми за обрисом поясів (перша закладка в діалоговому вікні), вказавши на кнопку



"Полігональна двосхила" з відповідним зображенням:

У вікні, що з'явилося, є кілька стандартних схем ферм. Вибираємо вкладку



«*Двоскатна ферма*», шукаємо схожу схему. Заповнюємо вихідні дані для проектування ферми:

Проліт ферми - 12 м;

Висота ферми - 1.5 м;

Кількість панелей - 7 шт.

$H_1 = 0,87$  м.

(Не будемо в навчальному прикладі турбуватися про стандартизацію розмірів).

Створення плоских ферм

Параметри ферми

L 12 м K 7

H 1.5 м fi °

h 0.87 м alpha Z 0 °

Координати жовтого вузла ферми

☒ Вказати вузол прив'язки

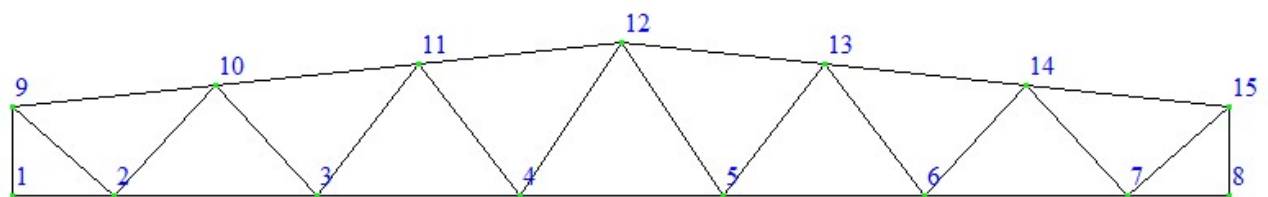
X 0. Y 0. Z 0.

Намалювати

☒ Створювати вузли в місцях перетину з іншими КЕ

✓ ✗ ?

Отримуємо




Видаляємо вузли №1 і №8

Виконуємо:



Упаковка схеми:

**Зшивання**

☒ Виконати зшивання 

м Точність зшивання

☐ Не зшивати елементи з різними типами жорсткості

☐ Не зшивати вузли з об'єднанням переміщень

☒ Не зшивати вузли жорстких тіл



☐ Тільки для фрагменту

☐ Крім виділених вузлів та елементів

☐ Не видаляти елементи з некоректною геометрією

☐ Видаляти елементи з некоректною геометрією

☒ За можливості виправляти

Елементи з некоректною геометрією  

**Виключити з розрахункової схеми**

☒ 'Висячі' вузли ☐ Крім виділених

☒ Видалені вузли та елементи

☒ Невикористовувані жорсткості

☒ Невикористовувані матеріали




☒ Невикористовувані групи об'єднання

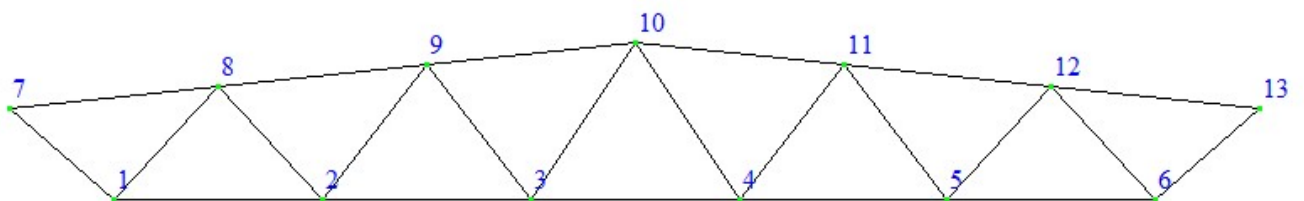
**Модульність координат вузлів**

☐ Привести координати вузлів до модуля

м Величина модуля

☐ Виконувати автозбереження перед початком упаковки

Параметри за умовчанням   

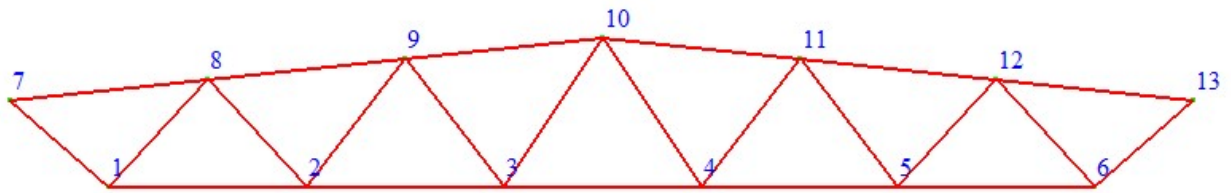


## 5.2 Призначення перерізів елементів ферми

Необхідно призначити довільний переріз із бібліотеки ЛІРА САПР. Надалі програма його перевірить, а потім, за необхідності, підбере оптимальний переріз із початку обраного сортаменту.

Щоб задати перетин:

1) **Відмітка елементів.** Виділяємо елементи верхнього пояса ВП, розкосів Р і нижнього пояса НП ферми.



2) **Призначте сортамент перерізів.** За допомогою меню **Жорсткості** –



**Жорсткості елементів** викличе вікно **Жорсткості та матеріали**.

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість:

☒ Матеріали: ДБН В.2.6-98:2005 ▼ Варіант 1

Тип:	Бетон:	Арматура:
<немає>	<немає>	<немає>

Жорсткості | 3/5 | Сталь | Кладка

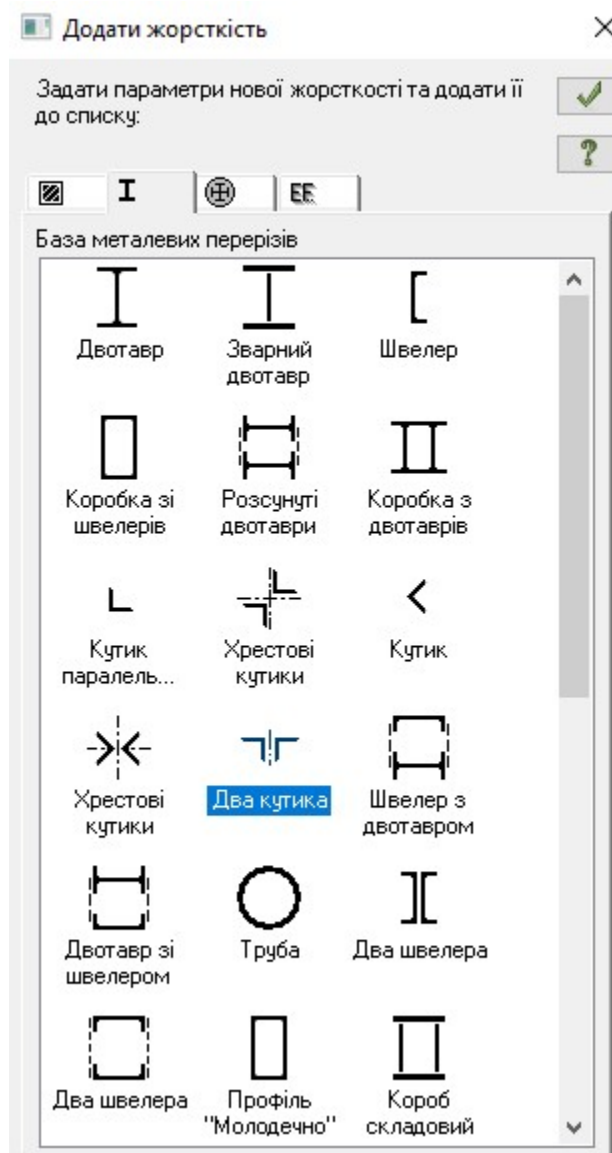
Список типів жорсткостей

Додати>>  
Змінити...  
Перегляд...  
Копіювати  
Видалити  
>>

Призначити поточним

☐ Список для фрагмента


> За допомогою кнопки **Додати** виведіть список стандартних типів перерізів.




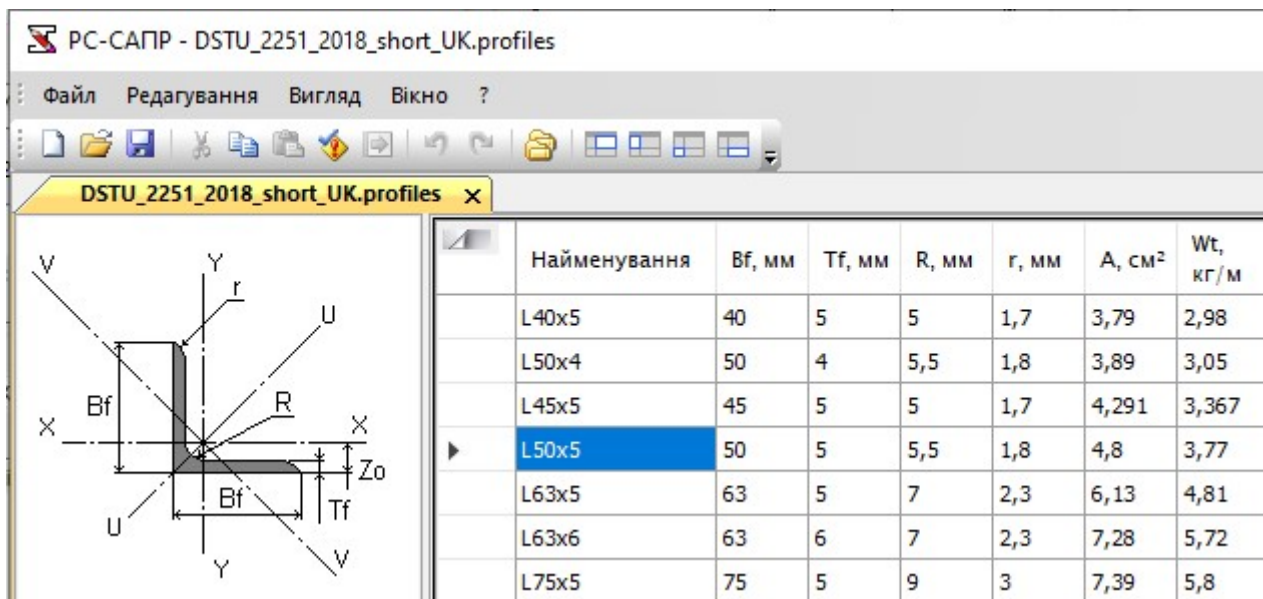
### 3) призначте номер профіля з сортамента.

> Перейдіть на другу закладку *Сталевий переріз*.



Вибираємо два кутики . «Кутик рівнополочний», спочатку можемо вибрати будь-який кутик, наприклад, мінімальний профіль для кроквяних ферм 50x50x5.

Визначаємося з матеріалом: 



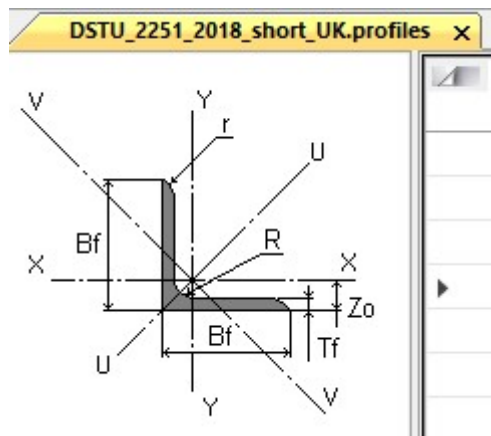
Найменування	Bf, мм	Tf, мм	R, мм	r, мм	A, см²	Wt, кг/м
L40x5	40	5	5	1,7	3,79	2,98
L50x4	50	4	5,5	1,8	3,89	3,05
L45x5	45	5	5	1,7	4,291	3,367
L50x5	50	5	5,5	1,8	4,8	3,77
L63x5	63	5	7	2,3	6,13	4,81
L63x6	63	6	7	2,3	7,28	5,72
L75x5	75	5	9	3	7,39	5,8

З «Марочника сталей и сплавів» підбираємо марку сталі:

Позначення марок сталі по діючій нормативно-технічній документації

Найменування сталі по ГОСТ 27772-88	Марки по діючим стандартам	
	Марка сталі	Позначення стандарта
C235	ВСт3кп2; ВСт3кп2-1; 18кп	ГОСТ 380-2005*, ТУ 14.1.3023-80
C245	ВСт3пс6; ВСт3пс6-1; 18пс	

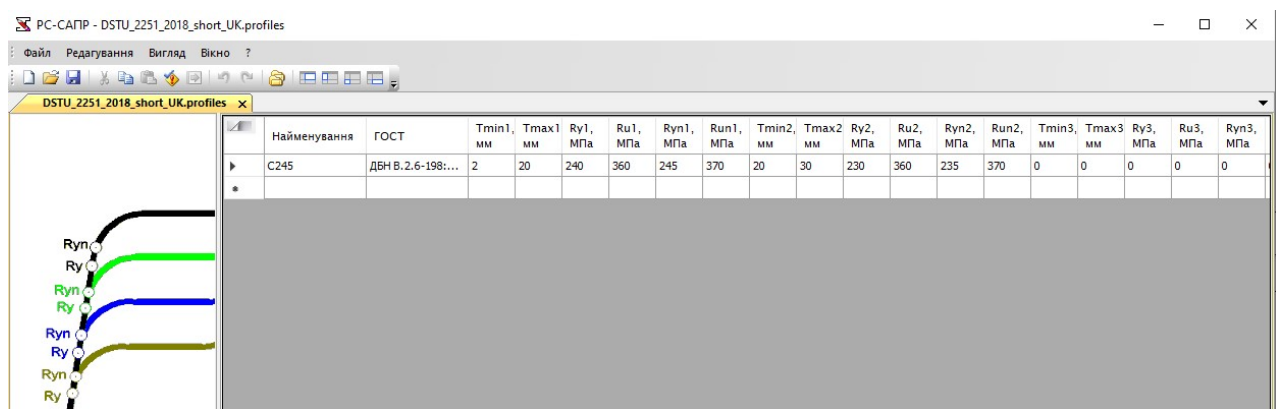




Викликаємо таблицю матеріалів:

, «Переключити

таблицю» ; «Таблиця матеріалів»:



Визначаємо сталь С245 (використовуємо надалі).

4) *Призначте поворот перерізу відносно місцевих вісей.* Цього разу утримаємося.

Для складених перерізів потрібне завдання стикування елементів перерізу.

Для завдання стикування:

- 1) Виділіть елемент перерізу, що стикується;
- 2) Натисніть кнопку **Стикування**>>;
- 3) Задайте відстань між жовтою і блакитною точками Y і Z.

Під час проектування ферми з парних кутиків з Т-подібним перетином, необхідно задати товщину фасонки. Товщину фасонки задають, виходячи з

максимальних зусиль, що виникають у фермі, і товщини стінок кутиків. У першому наближенні товщину фасонки приймаємо 6 мм. **Параметр стикування** призначаємо 0.6 см

Сталевий переріз

Склад Жорсткість

Склад перерізу:

.....**Г** 1. Два кутика L50x5

Профіль <DSTU\_2251\_2018\_short\_UK.profiles.srt> L50x5

Стикування

H = 5  
Tw = 0.5

Блакитна Жовта точка

Жовта точка віддалена від блакитної на відстані Y та Z

Bf = 0  
Tf = 0

Відстань Y визначається як координата

Y = Y1 = 0.6 см

R1 = 0.55  
R2 = 0.18

Відстань Z визначається як координата

Z = Z1 = 0 см

(все в см)

Поворот Переріз... Опис >> Коментар: Мінімальний Колір:

Корозія: не задано Корозія...

OK Отмена Справка

OK

**Призначити поточним, Призначити**

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість: 1. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

☒ Матеріали: ДБН В.2.6-98:2005 Варіант 1

Тип:	Бетон:	Арматура:
<немає>	<немає>	<немає>

Жорсткості | 3/5 | Сталь | Кладка

Список типів жорсткостей

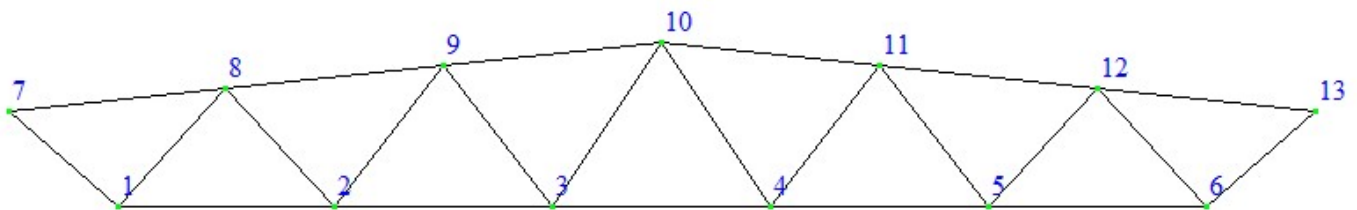
1. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

Додати<< Змінити... Перегляд... Копіювати Видалити

Призначити поточним

☐ Список для фрагмента

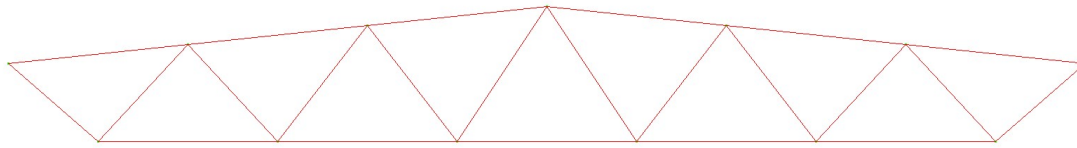
ОК



### 5.3 Призначення матеріалів

Матеріал усіх стрижневих елементів ферми визначено - ВСт3пс6-1 ТУ 14-1-3023-80

Виділяємо всі стержні ферми



Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість: 3. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

☐ Матеріали: ДБН В.2.6-98:2005 Варіант 1

Тип:	Бетон:	Арматура:
<немає>	<немає>	<немає>

Жорсткості | 3/5 | Сталь | Кладка

Список типів жорсткостей

3. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

Додати>> Змінити... Перегляд... Копіювати Видалити

Призначити поточним

☐ Список для фрагмента

Вкладка **Сталь**.

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість: 1. Два кутика L50x5 (Мінімальний)



☒ Матеріали: ДБН В.2.6-198:201 Варіант 1

Матеріал	Додаткові харак...	Обмеження підб...
<ні>	<ні>	<ні>

Жорсткості | З/Б | **Сталь** | Кладка

Задання параметрів для сталевих конструкцій

☒ Матеріал  
☐ Додаткові характеристики  
☐ Обмеження підбору

Додати...  
Змінити...  
Перегляд...  
Копіювати  
Видалити  
<< >>    
Розкріплення...  
Налаштування...

Призначити поточним

☐ Список для фрагмента

*Додати*

Параметри

Номер	1
Коментар	Мінімальний
<b>Переріз</b>	
Таблиця сталей	Сталь, лист <dbnlist.st...
Сталь	C245
Скорочений сортамент	Hi

*ОК.*

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість:

1. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

☒ Матеріали: ДБН В.2.6-198:201 ▼ Варіант 1

Матеріал	Додаткові харак...	Обмеження підб...
1. Мінімальний	<ні>	<ні>

Жорсткості | 3/5 | Сталь | Кладка

Задання параметрів для сталевих конструкцій

1. Мінімальний

☒ Матеріал  
☐ Додаткові характеристики  
☐ Обмеження підбору

Додати...

Змінити...

Перегляд...

Копіювати

Видалити

<< >> [Icon] [Icon]

Розкріплення...

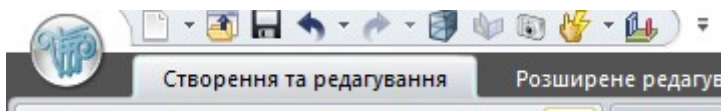
Налаштування...

Призначити поточним

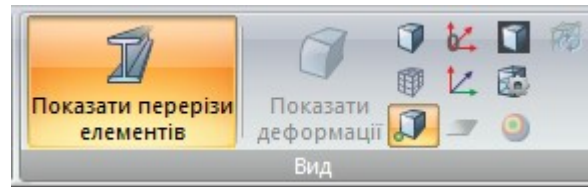
☐ Список для фрагмента

•OK

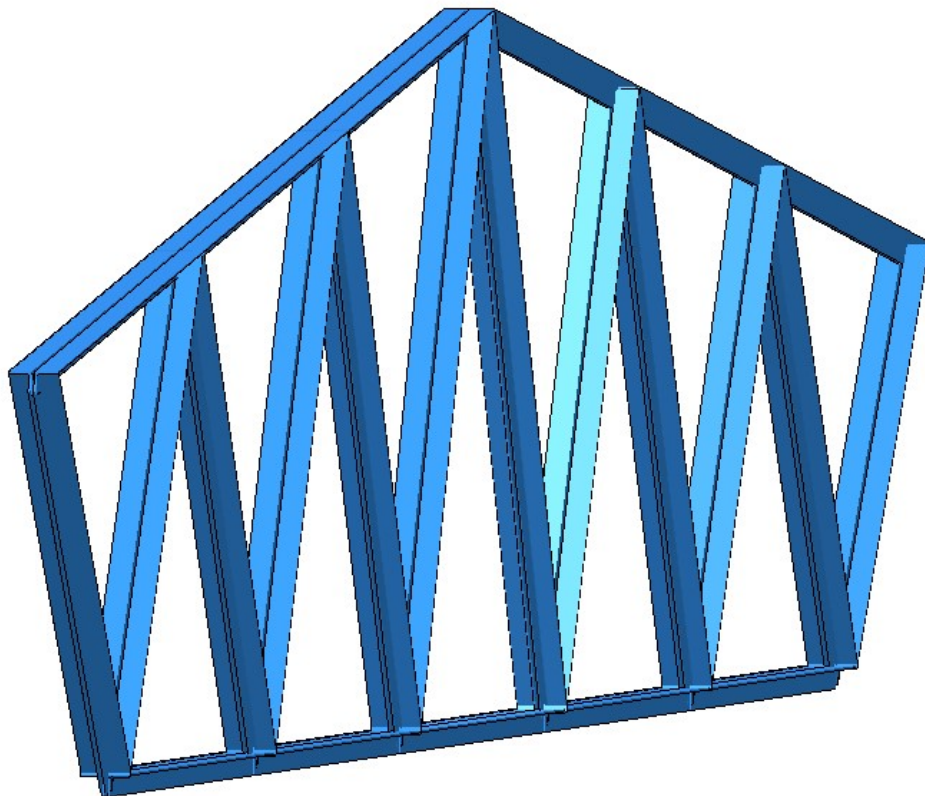
## 5.4 Візуалізація схеми



Натискаємо правою кнопкою миші на кнопку «Просторова модель»

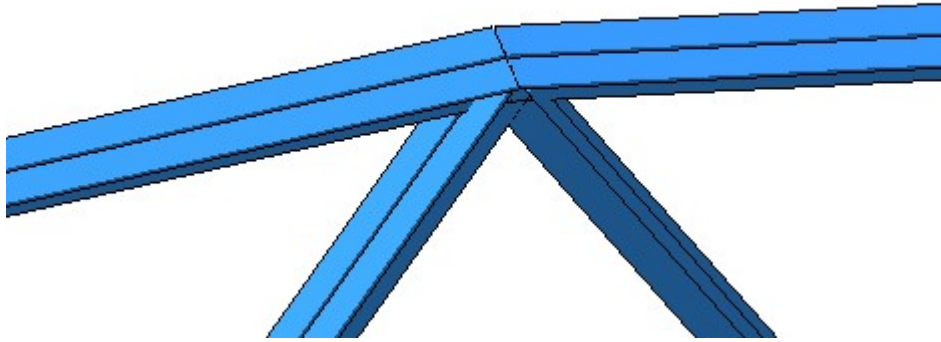


панелі швидкого доступу. Активуємо

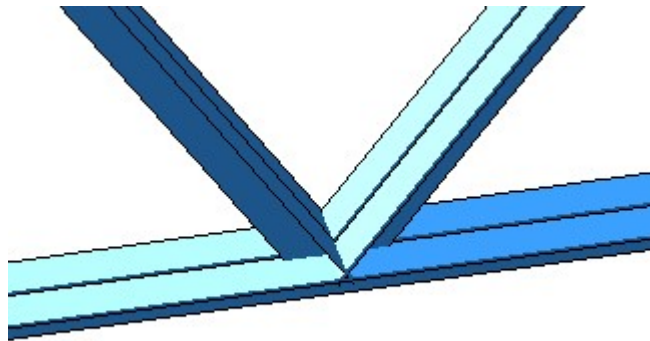


У вікні можна розглянути конструкцію з усіх боків. Переконаємося в правильній орієнтації кутиків верхнього пояса і решітки:





А ось кутики нижнього пояса необхідно повернути на 180 град:

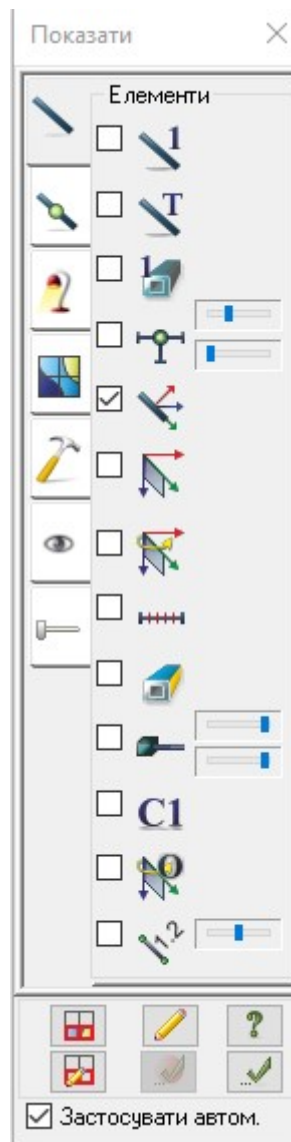


Після перегляду закриваємо вікно і повертаємося в інтерфейс програми.

Перед узгодженням (співспрямуванням) місцевих осей  $Y1$  і  $Z1$  (які задають поворот поперечного перерізу стрижня), потрібно проконтролювати напрямок поздовжньої місцевої осі  $X1$ .

Для візуалізації місцевих осей стрижнів у прапорах малювання на вкладці "Елементи" потрібно ввімкнути відповідну галочку:





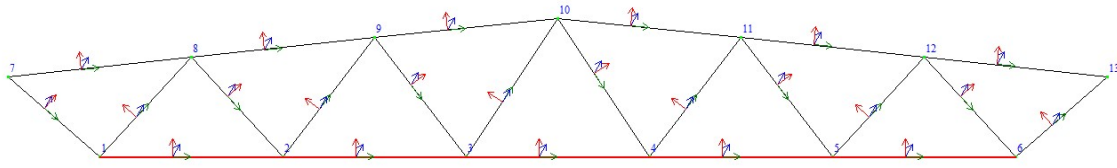
Місцева вісь  $X1$  завжди спрямована вздовж стрижня. При створенні плоских і просторових рам і фрагментів вісь  $X1$  спрямована в бік зростання відповідної координати, тобто співспрямована з глобальними осями.

За замовчуванням місцева вісь  $Z1$  стрижнів горизонтальних або похилих спрямована у верхній півпростір. У вертикальних стрижнях вісь  $Z1$  за замовчуванням співспрямована з глобальною віссю  $X$ . Місцева вісь  $Y1$  щодо осей  $X1$  і  $Z1$  спрямована за правилом правої трійки.

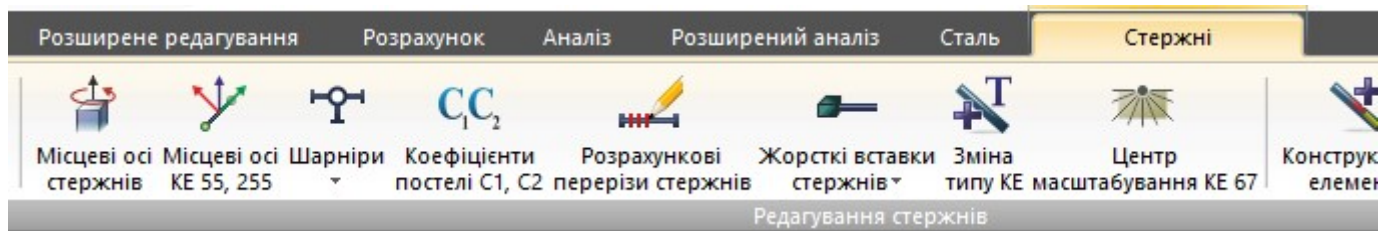
За необхідності задати потрібну орієнтацію перерізу елемента, тобто розгорнути місцеві осі елемента, можна різними способами, зокрема поворотом на заданий кут відносно початкового положення.

Для цього:

## 1. Вибрати стрижні нижнього пояса



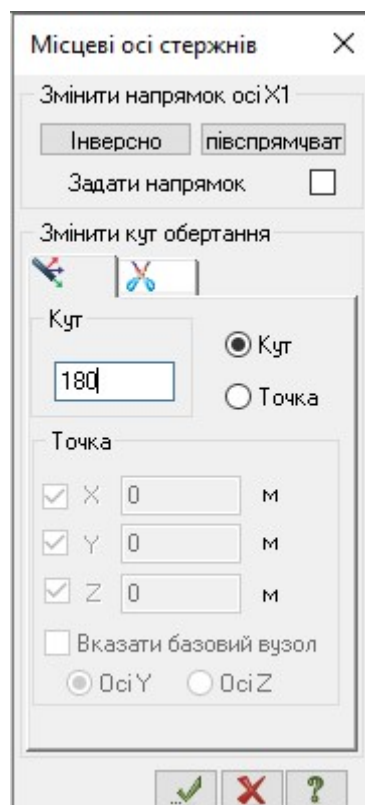
## 2. На панелі швидкого доступу вибрати **Стержні**,



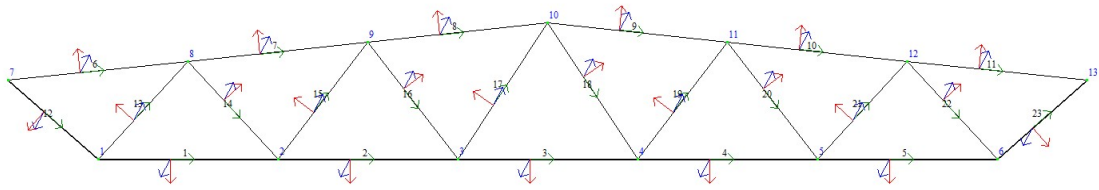
## Місцеві осі стержнів



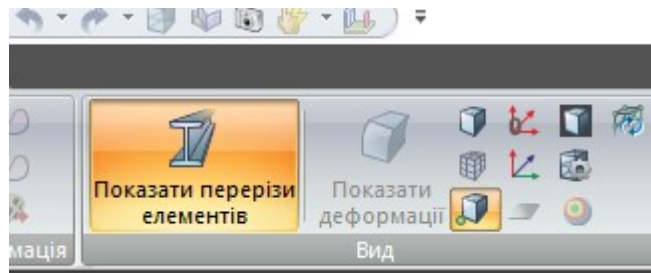
Задаємо кут повороту 180 град.



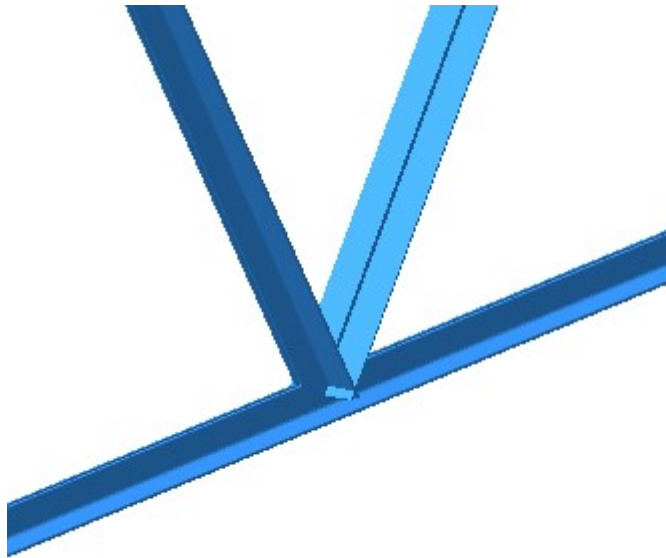
•OK



Коректність положення/повороту перерізу елемента в схемі можна перевірити в 3D-виді:



Не забуваємо **Оновити просторову модель**  !



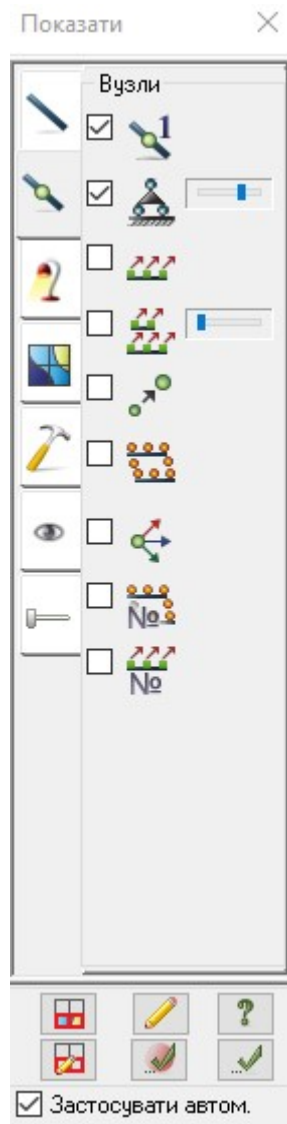
Перетин нижнього пояса прийняв потрібне положення.





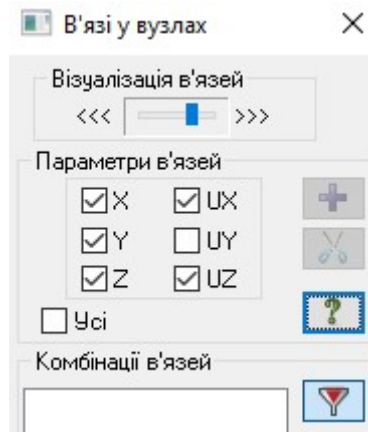
### 5.5 Закріплення ферми в просторі



Необхідно закріпити ферму в просторі. Опорний вузол допускає тільки шарнірне сполучення з колонами. Ми повинні в одному вузлі заборонити переміщення в усіх напрямках і поворот навколо осей  $X$  і  $Z$ , а в іншому - заборонити переміщення в усіх напрямках, крім осі  $X$  і заборонити повороти навколо осей  $X$  і  $Z$ .

Щоб переконатися, що закріплення задано, в «*Параметри відображення*» натискаємо кнопку «*В'язі*»;

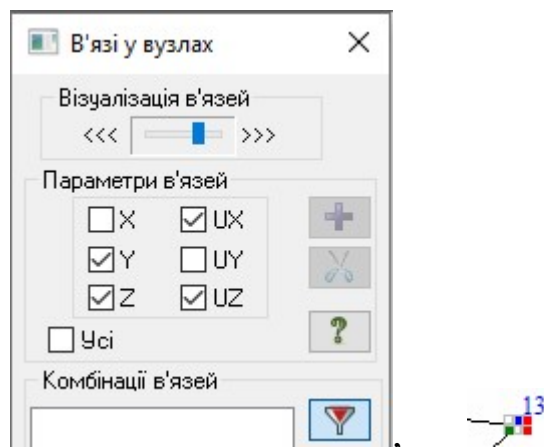



Для позначки вузла № 7 натисніть кнопку  на панелі інструментів (Вибір / Позначка вузлів). За допомогою курсору виділіть вузли № 7 (вузли забарвлюються в червоний колір). За допомогою кнопки  на панелі інструментів (Схема / Зв'язки) викличте діалогове вікно "Зв'язки у вузлах". У цьому вікні, за допомогою встановлення прапорців, позначте напрямки, за якими заборонені переміщення вузлів.



Після цього клацніть по кнопці  (має відобразитися кольоровий прямокутник у закріпленому вузлі ).

Для позначки вузла №13



Щоб переглянути, в яких напрямках заборонені переміщення у вузлі, на панелі **«Панелі інструментів»** натискаємо кнопку **«Інформація про вузол»**  і обираємо вузол, що цікавить; тут же можна змінювати закріплення в разі потреби.

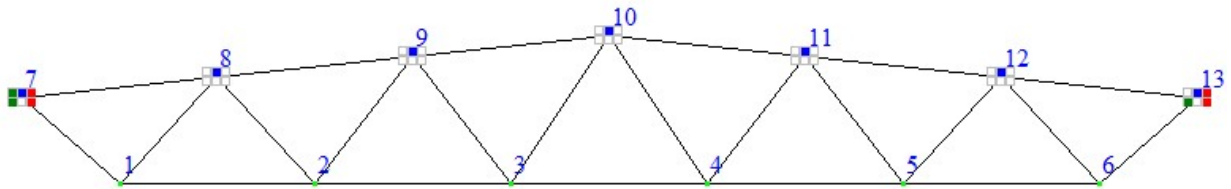
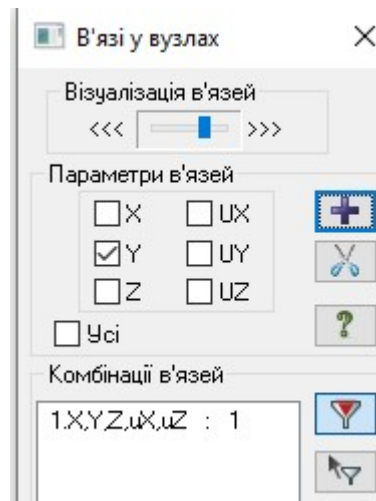
Вузол 7

Координати		В'язі	
X	0 м	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input checked="" type="checkbox"/> UX
Y	0 м	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY
Z	0.87 м	<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input checked="" type="checkbox"/> UZ
N° вузла	Блок N	N° ж.т.	<input type="checkbox"/> Відмічений
7			
Супервузол		Додати вузол	
<input type="checkbox"/>			
Навантаження		N° заван.	
		1	
Локальні осі			
<input type="checkbox"/> Встановити	X	0 м	
	Y	0 м	
Fi	0 °	Z	0 м
Об'єднання переміщень			
Групи, що містять вузол: Усі групи			
Видалити		Додати	

Далі необхідно закріпити ферму від переміщення за віссю Y у вузлах, де в реальності будуть кріпитися прогони і зв'язки, які забезпечуватимуть жорсткість конструкції в горизонтальній площині. По верхньому поясу роль зв'язків відіграють прогони. По нижньому - зв'язки, встановлені у вузлах 1 і 6.

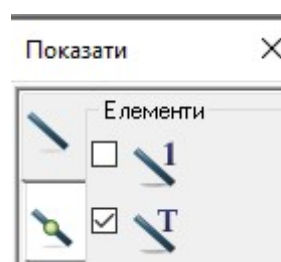
Прогони закріплюються у вузлах, тому фіксуємо вузли 1,6 і

8 ... 12 від переміщення вздовж осі Y.



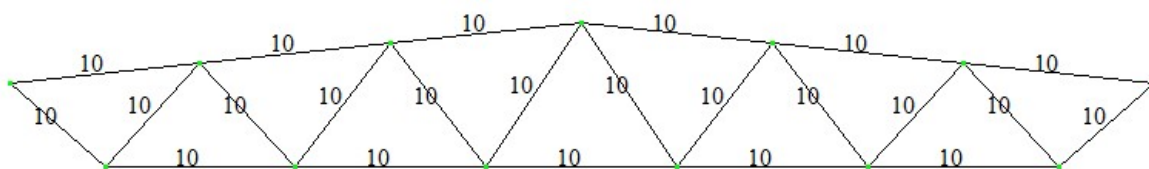
## 5.6 Коригування типу кінцевих елементів

У бібліотеці ЛІРА-САПР є різні типи елементів. Після натискання на кнопку «*Типи KE*»



на панелі «*Флаги рисования*» і ми побачимо, що під кожним елементом з'явилася цифра 10.





KE-10. Застосовується для розрахунку просторових ферм. У кожному вузлі присутні 3 ступені свободи: - X - переміщення вздовж осі X; - Y - переміщення вздовж осі Y; - Z - переміщення вздовж осі Z.

Кінцевий елемент може працювати в усіх ознаках схем, що застосовуються під час розрахунку стрижневих конструкцій


Ми отримали розрахункову схему ферми й попередньо задали переріз. Переходимо до навантаження ферми.

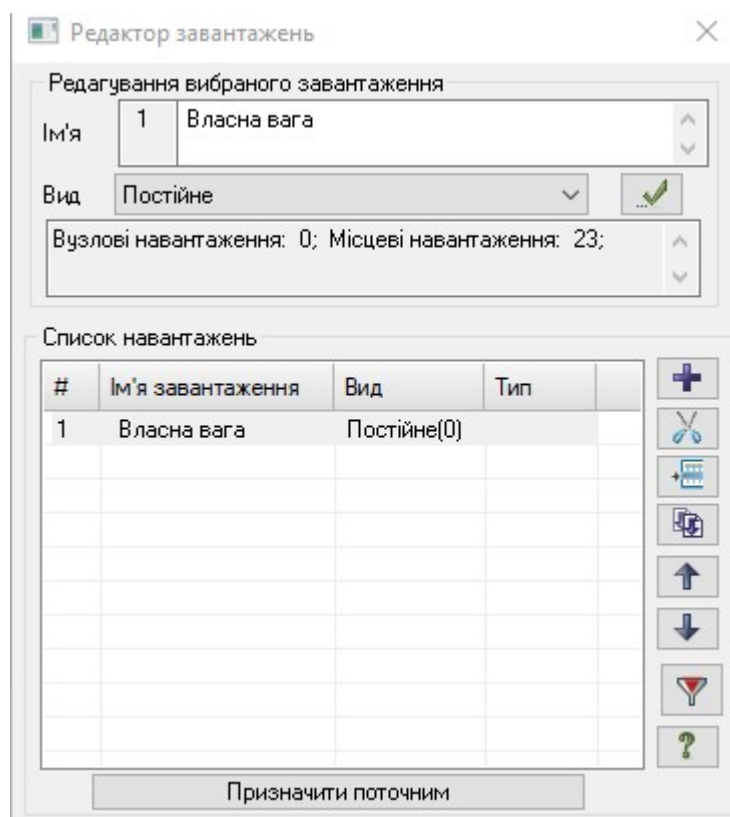
## 5.7 Ввод навантажень


Для перевірки граничних станів першої групи використовують **граничні розрахункові значення навантажень**.

Допускається завдання до 99 завантажень. Кожному завантаженню присвоюється номер і довільне ім'я. Завантаження може містити будь-яку кількість навантажень. Номер та ім'я завантаження присвоюються за допомогою діалогового вікна «**Активне завантаження**», яке викликається кнопкою на панелі інструментів (**Навантаження/ Обрання завантаження**). За замовчуванням, на початку роботи програми, прийнято ім'я **Завантаження № 1**.

### 5.7.1 Власна вага

У рядку стану  (знаходиться в нижній області робочого вікна), редагуємо назву :



Кнопкою  на панелі інструментів (**Навантаження / Обрання завантаження**) викличе діалогове вікно **«Додати власну вагу»**. Коефіцієнт надійності за навантаженням 1,05. У лівому верхньому кутку робочої області екрана з'явиться відповідний напис.

Додати власну вагу

Власну вагу призначити на:

☒ усі елементи(за типом жорсткості)

☐ усі, що монтуються (за типом жорсткості)

Типи жорсткості

☒ стандарті

☒ металеві

☒ Сталезалізобетонні

☒ пластинчаті, об'ємні, числові

☐ виділені елементи

☐ виключати жорсткі вставки стержнів

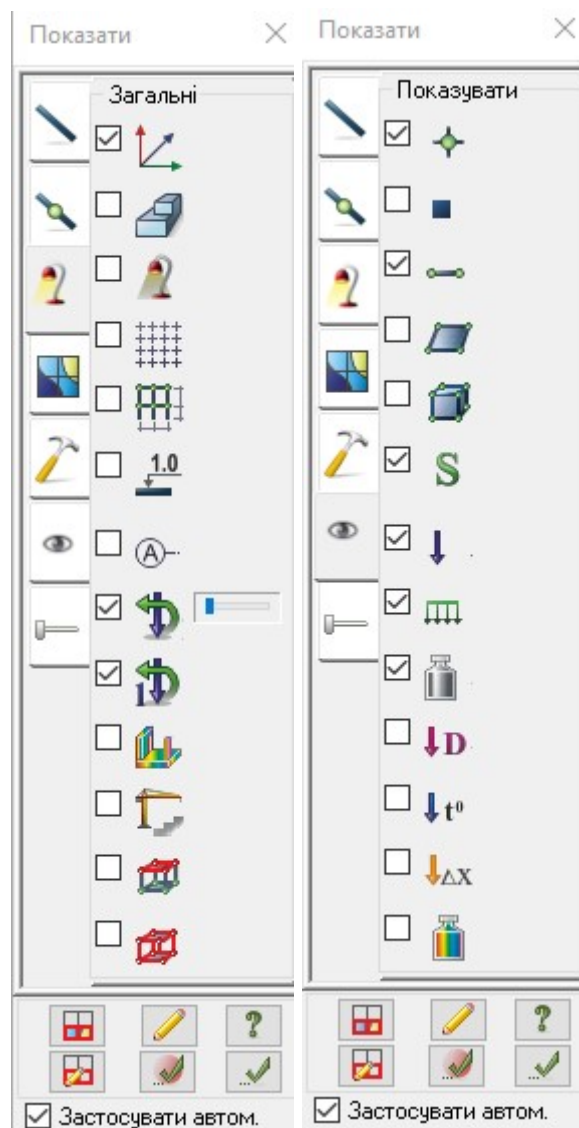
Коеф.надійності по навантаженню

1.05

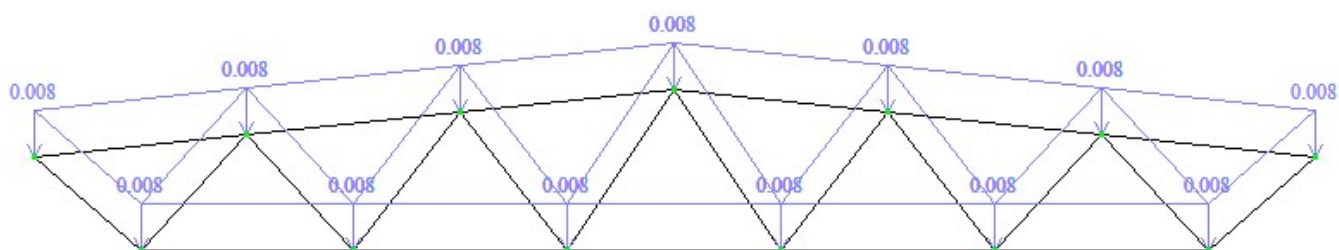
...

...

Для відображення на розрахунковій схемі заданих навантажень необхідно встановити прапорці «*Навантаження*» и «*Величини навантажень*» в діалоговому вікні «*Параметри відображення*».


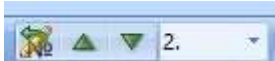



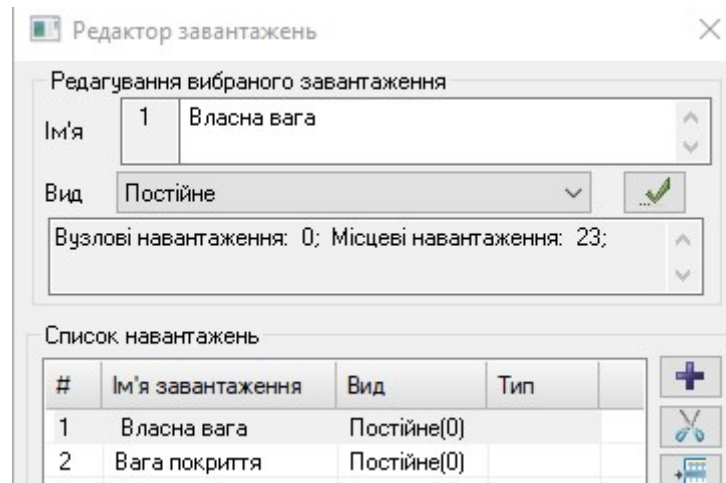
Клацніть по кнопці "Перемалювати". Для всіх елементів схеми масу буде враховано автоматично. Вийде така картина:



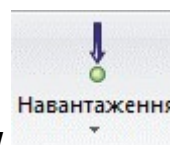
**Власна вага** — це **постійне навантаження**, **вид навантаження** — **вага металевих конструкцій**;

### 5.7.2 Вага перекриття

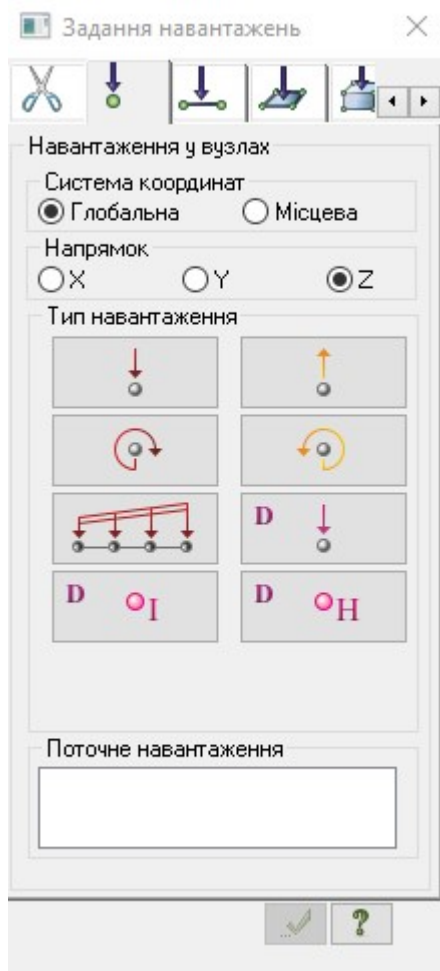
Змініть номер завантаження клацанням по кнопці  **Наступне завантаження** – у рядку стану  (знаходиться в нижній області робочого вікна), редагуємо назву  навантаження №2 «Вага перекриття», постійна.



- ☐ Виділіть вузли 8...12.



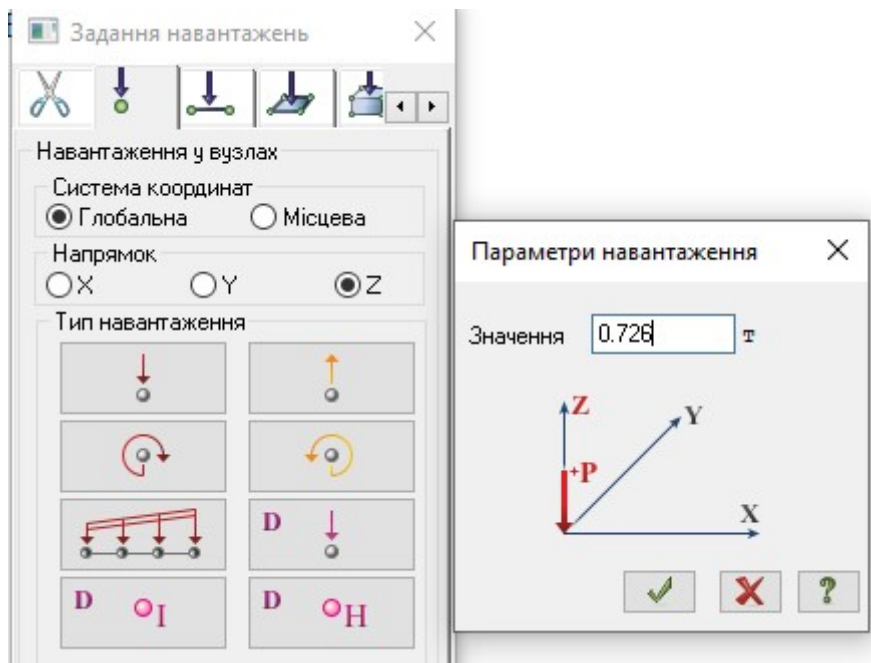
- ☐ Викличте діалогове вікно **Навантаження**, у випадаючому



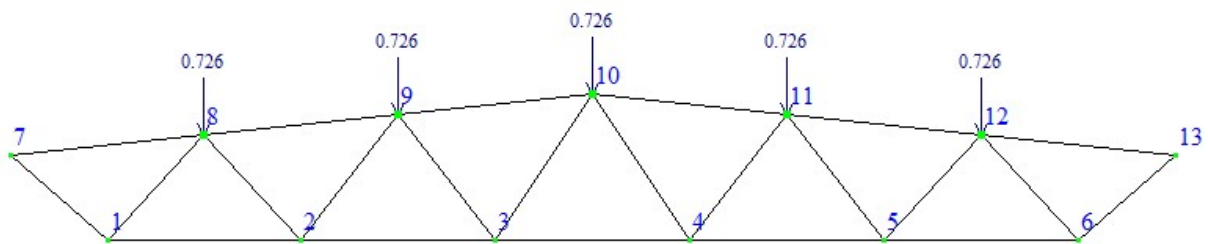
списку обрав команду – **Навантаження в вузлах** у  
 випадаючому списку **Завдання навантажень**.

□ У цьому вікні за замовчуванням вказано систему координат Глобальна, напрямок - уздовж осі Z.

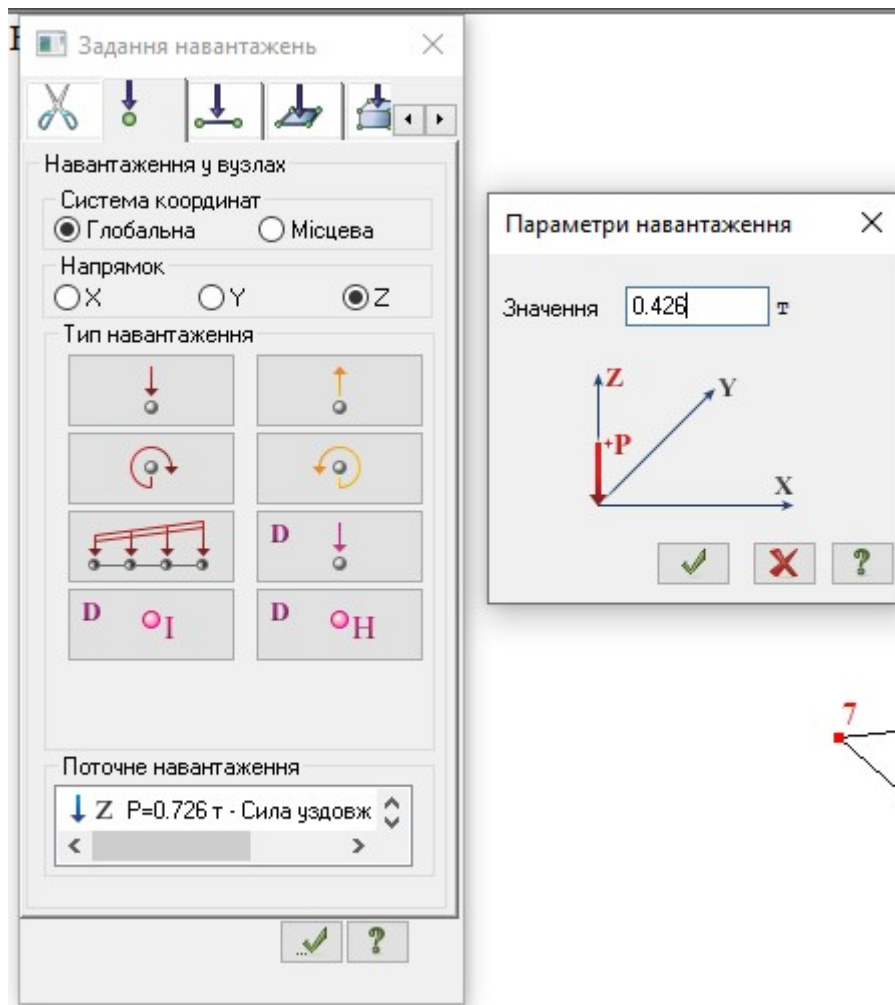
Навантаження на один вузол 0,726т. Пишемо це значення в клітинку Z.



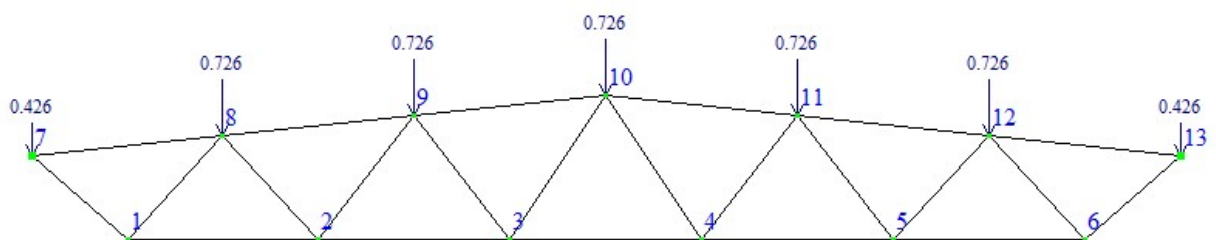
«OK».



Додамо навантаження в 0,426т в опорних вузлах. Вибираємо вузли 7,13.



«OK», :



Назва «**Вага покриття**».


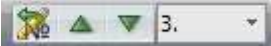

Вага перекриття: тип — *постійне навантаження*, вид — *металевих конструкцій*.

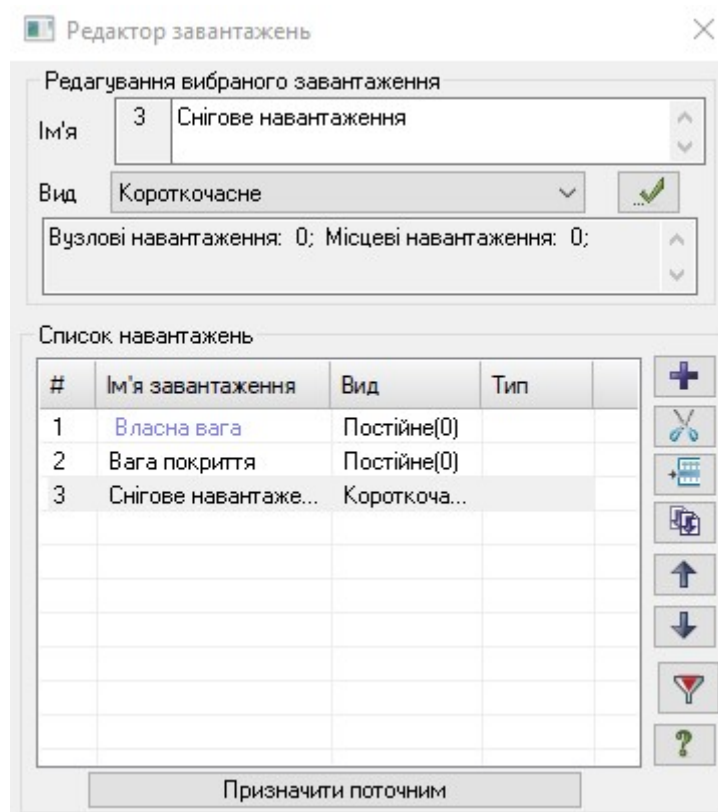


### 5.7.3 Снігове навантаження

**Граничне** розрахункове снігове навантаження 3.84т и 1.92т зосереджена у вузлах 8...12 і 7,13 відповідно.

Снігове навантаження може бути як короткочасним, так і тривалим навантаженням. Нам необхідно прийняти максимальне значення, тому ставимо: тип навантаження — **«Короткочасне»**, вид навантаження — **«Снігове навантаження»**.

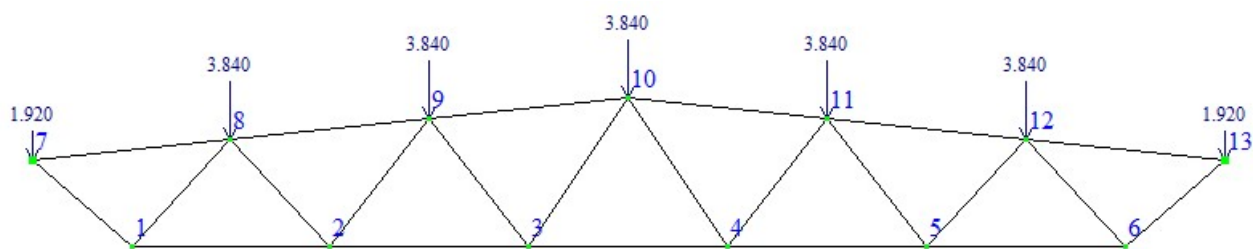
Змініть номер завантаження клацанням по кнопці  **Наступне завантаження** — у рядку стану  (знаходиться в нижній області робочого вікна), редагуємо назву  навантаження №3 **Снігове навантаження**, вид **«Короткочасне»**.



Обираємо вузли 6 ... 12. Тиснемо кнопку **«Навантаження на вузли»**, (поле Z) вводимо число 3.84 т, Потім обираємо вузли 7 і 13, натискаємо на кнопку




**«Навантаження на вузли»**, вводимо число

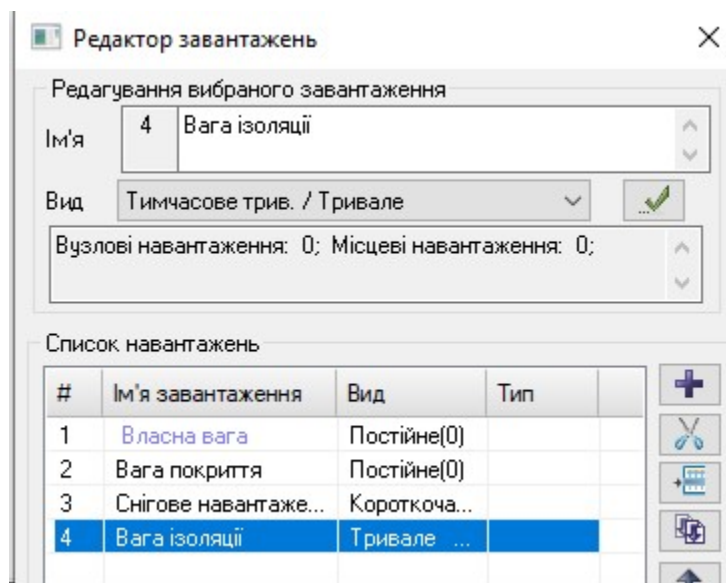
1.92т, **«ОК»**, :



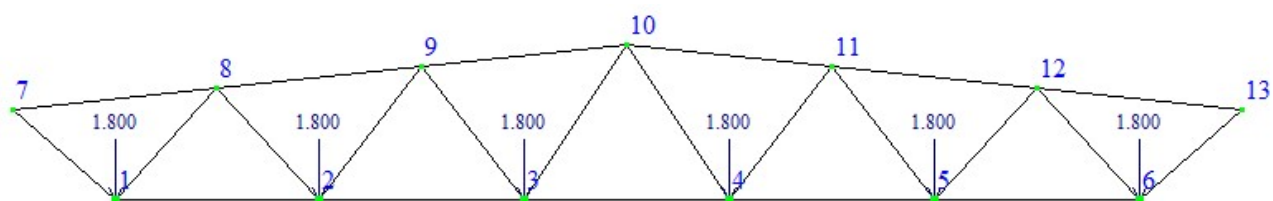
### 5.7.4 Вага від обладнання, що підвішується

Приймаємо вагу стаціонарного обладнання (кабельне): тип - «*Тимчасове тривале*», вид – «*Вага ізоляції*».

Змініть номер завантаження клацанням по кнопці  **Наступне завантаження** – у рядку стану  (знаходиться в нижній області робочого вікна), редагуємо назву  завантаження №4 **Вага ізоляції**, вид «*Тимчасове тривале*».



Вибираємо вузли з 1 по 6. Тиснемо кнопку «*Навантаження на вузли*», (поле Z) вводимо число 1.8т.




## 5.8 Генерація таблиці РСЗ

Відповідно до будівельних норм підбір і перевірку металевих перерізів проводять за найнебезпечнішими поєднаннями зусиль. Тому для подальшої роботи в режимі *Залізобетонні і сталеві конструкції* потрібно проводити розрахунок РСЗ чи РСН.

Обчислення розрахункових сполучень зусиль (РСЗ) здійснюють за критерієм екстремальних значень напружень у характерних точках перерізів елементів на підставі правил, установлених нормативними документами.

Під час завдання розрахунку за РСЗ програма вибирає найнесприятливіші сполучення, виходячи з логічного зв'язку, заданого під час формування таблиці РСЗ.



Клацанням по кнопці  – *Таблиця РСЗ* (панель *РСЗ* на вкладці *Розрахунок*) викличе діалогове вікно *Розрахункове сполучення зусиль*.

Оскільки вид завантажень задавався в діалоговому вікні *Редактор завантажень*, *таблиця РСЗ* сформувалася автоматично з параметрами, прийнятими за замовчуванням для кожного завантаження. Взаємовиключні завантаження відсутні.

Коефіцієнт надійності за навантаженням для *Завантаження 1* «Власна вага» для металевої конструкції дорівнює 1,05.

Розрахункові Сполучення Зусиль

Номер таблиці РСЗ: 1

Ім'я таблиці РСЗ: ДБН\_1

Будівельні норми: ДБН В.1.2 - 2:2006

Номер завантаження: 1 Власна вага

Вид завантаження: Постійне(0)

Н групи об'єднаних тимчасових завантажень: 0

Враховувати знакозмінність: ☐

Н групи взаємовиключаючих завантажень: 0

NN супутніх завантажень: 0

Відношення коефіцієнтів  $\gamma_m / \gamma_{fe}$ : 1.05

Відношення  $P_q / P_{ch}$ : 1.00

Коефіцієнти для РСЗ

#	1 основ.	2 основ.	Аварійн.	Авар.(6 С)	5 сполуч.	6 сполуч.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	0.95	0.80	0.95	0.00	0.00

Коригуємо з підтвердженням «OK».

Далі:

Постоянное (0)

Розрахункові Сполучення Зусиль

Номер таблиці РСЗ: 1

Ім'я таблиці РСЗ: ДБН\_1

Будівельні норми: ДБН В.1.2 - 2:2006

Номер завантаження: 2 Вага покриття

Вид завантаження: Постійне(0)

Н групи об'єднаних тимчасових завантажень: 0

Враховувати знакозмінність: ☐

Н групи взаємовиключаючих завантажень: 0

NN супутніх завантажень: 0

Відношення коефіцієнтів  $\gamma_m / \gamma_{fe}$ : 1.05

Відношення  $P_q / P_{ch}$ : 1.00

Коефіцієнти для РСЗ

#	1 основ.	2 основ.	Аварійн.	Авар.(6 С)	5 сполуч.	6 сполуч.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	0.95	0.80	0.95	0.00	0.00

Розрахункові Сполучення Зусиль

Номер таблиці РСЗ: 1

Ім'я таблиці РСЗ: ДБН\_1

Будівельні норми: ДБН В.1.2 - 2:2006

Номер завантаження: 3 Снігове навантаження

Вид завантаження: Короткочасне(2) За умовчанням

N групи об'єднаних тимчасових завантажень: 0

Враховувати знакозмінність: ☐

N групи взаємовиключаючих завантажень: 0

NN супутніх завантажень: 0 0

Відношення коефіцієнтів  $\gamma_m / \gamma_{fe}$ : 1.00

Відношення  $P_q / P_{ch}$ : 0.35

Коефіцієнти для РСЗ

#	1 основ.	2 основ.	Аварійн.	Авар.(б С)	5 сполуч.	6 сполуч.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	0.95	0.80	0.95	0.00	0.00

Розрахункові Сполучення Зусиль

Номер таблиці РСЗ: 1

Ім'я таблиці РСЗ: ДБН\_1

Будівельні норми: ДБН В.1.2 - 2:2006

Номер завантаження: 4 Вага ізоляції

Вид завантаження: Тривале (1) За умовчанням

N групи об'єднаних тимчасових завантажень: 0

Враховувати знакозмінність: ☐

N групи взаємовиключаючих завантажень: 0

NN супутніх завантажень: 0 0

Відношення коефіцієнтів  $\gamma_m / \gamma_{fe}$ : 1.20

Відношення  $P_q / P_{ch}$ : 1.00

Коефіцієнти для РСЗ

#	1 основ.	2 основ.	Аварійн.	Авар.(б С)	5 сполуч.	6 сполуч.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	0.95	0.80	0.95	0.00	0.00

Після підтверджень за всіма завантаженнями отримаємо:

Розрахункові Сполучення Зусиль

Номер таблиці РСЗ: 1

Ім'я таблиці РСЗ: ДБН\_1

Будівельні норми: ДБН В.1.2 - 2:2006

Номер завантаження: 1 Власна вага

Вид завантаження: Постійне(0) За умовчанням

N групи об'єднаних тимчасових завантажень: 0

Враховувати знакозмінність: ☐

N групи взаємовиключаючих завантажень: 0

NN супутніх завантажень: 0 0

Відношення коефіцієнтів  $\gamma_{lm} / \gamma_{le}$ : 1.05

Відношення  $P_q / P_{ch}$ : 1.00

Не враховувати для II-го стану: ☐

Обмеження для кранів та гальм: Кран ☐ Гальмо ☐

Коефіцієнти для РСЗ

#	1 основ.	2 основ.	Аварійн.	Авар.(6 С)	5 сполуч.	6 сполуч.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	0.95	0.80	0.95	0.00	0.00

Зведена таблиця для обчислення РСЗ:

№	Ім'я завантаж...	Вид	Параметри РСЗ	Коефіцієнти РСЗ
1	Власна вага	Постійне(0)	0 0 0 0 0 0 1.05 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Вага покриття	Постійне(0)	0 0 0 0 0 0 1.05 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
3	Снігове нава...	Короткочасн...	2 0 0 0 0 0 1.00 0.35	1.00 0.90 0.50 0.80
4	Вага ізоляції	Тривале ...	1 0 0 0 0 0 1.20 1.00	1.00 0.95 0.80 0.95

«OK».

## 5.9 Генерація таблиці РСН

Обчислення **розрахункових сполучень навантажень (РСН)** здійснюють безпосереднім підсумовуванням відповідних переміщень вузлів і зусиль (напружень) в елементах за правилами, встановленими нормативними документами (на відміну від обчислення РСУ, де як критерій для визначення небезпечних сполучень використовують екстремальні значення напружень у характерних точках перерізів стрижневих елементів).



☐ Клацанням по кнопці **РСН** (панель **Дод. розрахунки**) викличе діалогове вікно **Розрахункові сполучення навантажень**.

Оскільки вид завантажень задавався в діалоговому вікні **Редактор завантажень** (рис. таблиця РСН сформувалася автоматично з параметрами, прийнятими за замовчуванням для кожного завантаження).

Розрахункові сполучення навантажень

Номер таблиці РСН: 1

Ім'я таблиці РСН: ДБН В.1.2 - 2:2006\_1

☐ Визначальні РСН

ДБН В.1.2 - 2:2006

	N завантаж.	Найменування	Вид	Знакозмін.	Взаємовикл.	відношення коеф.	P q / P c
1	1	Власна вага	Постійне(П)	+		1.05	1.0
2	2	Вага покриття	Постійне(П)	+		1.05	1.0
3	3	Снігове навантаження	Короткочасне(К)	+		1.0	.35
4	4	Вага ізоляції	Тривале(Т)	+		1.2	1.0

1 основне  
2 основне  
Аварійне (С)  
Аварійне (б/С)

Додати





$\Sigma P + Д + К + (Кр + Т) + М$

Коефіцієнти

**«Додати»**

Вносяться коефіцієнти сполучень "0" або "1.0" для комбінацій завантажень РСН2 і РСН3, які відповідають відсутності або появі снігового навантаження:

Розрахункові сполучення навантажень

Номер таблиці РСН      Ім'я таблиці РСН

☐ Визначальні РСН

ДБН В.1.2 - 2:2006

	N завантаж.	Найменування	P q / P ch	РСН1	РСН2	РСН3
1	1	Власна вага	1.0	1.	1.	1.
2	2	Вага покриття	1.0	1.	1.	1.
3	3	Снігове навантаження	.35	0.	0.	1.
4	4	Вага ізоляції	1.0	0.	1.	1.

1 основне  
2 основне  
Аварійне (С)  
Аварійне (б/С)

$\Sigma P + D \cdot K \cdot (K_p + T) \cdot M$

Коефіцієнти

Додати

Зберегти дані 

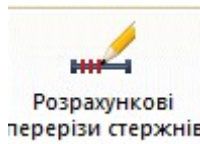
**Вихід.**

### 5.10 Завдання розрахункових перерізів

За замовчуванням зусилля в стрижневих елементах виконуються у двох перерізах. Для конструювання елемента, що згинається, потрібно обчислити зусилля в трьох або більше перерізах.

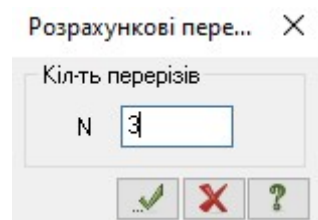
- - Виділіть на схемі всі елементи.






• - Клацанням по кнопці **Розрахункові перерізи стержнів** – **Розрахункові перерізи стержнів** (панель **Редагування стержнів** на контекстній вкладці (**Стержні**) викличе діалогове вікно **Розрахункові перерізи**.

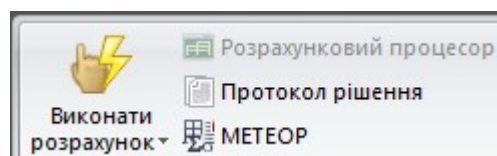
• - У цьому вікні задайте кількість розрахункових перерізів  $N = 3$ .



## 6. Розрахунок

Тепер ми можемо виконати розрахунок ферми. Запустіть завдання на розрахунок

клацанням по кнопці  **Виконати розрахунок** – **Виконати повний розрахунок** (панель **Розрахунок** на вкладці **Розрахунок**).



Заходимо в **Протокол рішення**

ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ

Дата: 01.09.2023

GenuineIntel Intel(R) Core(TM) i5-9600K CPU @ 3.70GHz 6 threads

Microsoft Windows 10 Professional RUS 64-bit. Build 19045

Розмір доступної фізичної пам'яті = 28085493248

13:02 Читання вихідних даних з файлу C:\Users\Public\Documents\LIRA SAPR\LIRA SAPR

13:02 Контроль вихідних даних основної схеми

Кількість вузлів = 13 (з них кількість невидалених = 13)

Кількість елементів = 23 (з них кількість невидалених = 23)

ОСНОВНА СХЕМА

13:02 Оптимізація порядку невідомих

Кількість невідомих = 64

РОЗРАХУНОК НА СТАТИЧНІ ЗАВАНТАЖЕННЯ

13:02 Формування матриці жорсткості

13:02 Формування векторів навантажень

13:02 Розкладання матриці жорсткості

13:02 Обрахунок невідомих

13:02 Контроль розв'язку

Формування результатів

13:02 Формування топології

13:02 Формування переміщень

13:02 Обрахунок і формування зусиль в елементах

13:02 Обрахунок і формування реакцій в елементах

13:02 Обрахунок і формування епюр зусиль в стержнях

13:02 Обрахунок і формування епюр прогинів у стержнях

Сумарні вузлові навантаження на основну схему:

Завантаження 1 PX=0 PY=9.69553e-018 PZ=0.322529 PUX=0 PUY=4.33681e-018 PUZ=1.0

Завантаження 2 PX=0 PY=0 PZ=4.482 PUX=0 PUY=0 PUZ=0

Завантаження 3 PX=0 PY=0 PZ=23.04 PUX=0 PUY=0 PUZ=0

Завантаження 4 PX=0 PY=0 PZ=10.8 PUX=0 PUY=0 PUZ=0

Розрахунок успішно завершено

Витрачений час = 0 хв

*У процесі розрахунку в протоколі можуть з'явитися повідомлення про помилки.*

*Є помилки - необхідно усунути їхню причину. Переконаємося у відсутності помилок завдання параметрів розрахункової схеми.*

## 7. Графічний аналіз

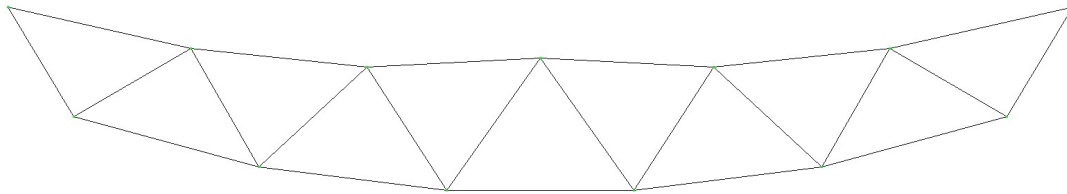
Програма підрахувала навантаження, що виникають у стрижнях, і тепер нам необхідно підібрати перерізи.

### 7.1 Перегляд та аналіз результатів статичного розрахунку

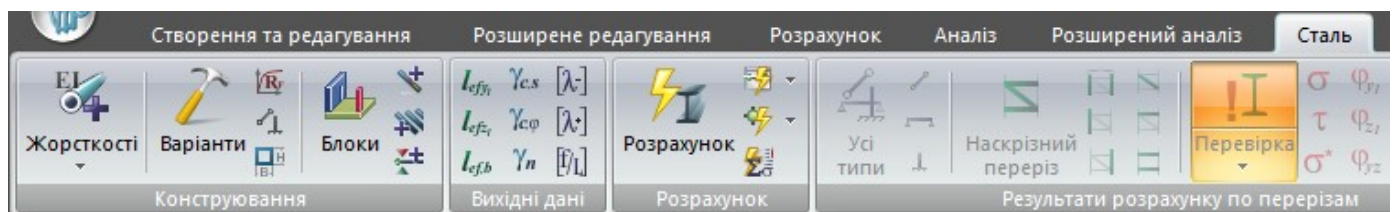
Після розрахунку задачі, перегляд і аналіз результатів статичного розрахунку здійснюється на вкладці

## Аналіз.

☐ У режимі перегляду результатів розрахунку за замовчуванням розрахункова схема відображається з урахуванням переміщень вузлів.



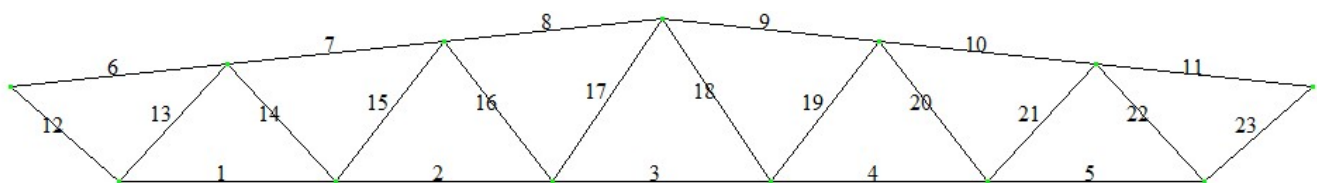
У вікні, що з'явилося, ми можемо подивитися деформації схеми, епюри, але нас зараз цікавить перехід **Сталь** - **Конструювання**



Для роботи в цьому постпроцесорі необхідно задати додаткові параметри елементів - простих елементів і конструктивних.

## 7.2 Завдання додаткових характеристик

У нашому випадку є 2 групи простих елементів, що відрізняються додатковими характеристиками. Це опорні розкоси ферми - елементи 12,13,22,33 і неопорні розкоси ферми - елементи 14...22.



### 7.2.1 Призначення розрахункових довжин елементам ферми

Розрахункові довжини призначаються згідно з ДБН В.2.6-163:2010.

Розрахункові довжини елементів плоских ферм із парних кутиків наведено в таблиці 1.

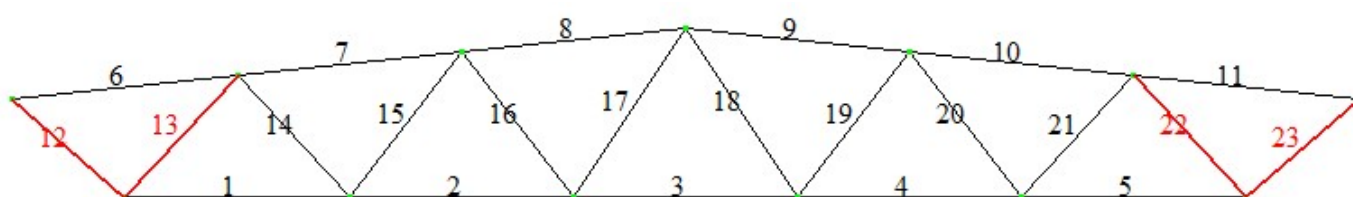
Таблиця 1

Напрямок втрати стійкості	Розрахункова довжина $l_{ef}$		
	поясів	опорних раскосів і опорних стійок	інших елементів решітки
1. В площині ферми	$l$	$l$	$0,8l$
2. Із площини ферми	$l_1$	$l_1$	$l_1$

П р и м і т к а:  $l$  - геометрична довжина елемента (відстань між центрами вузлів);  $l_1$  - відстань між центрами вузлів, закріплених від зсуву з площини ферми (поясами ферм, зв'язками, плитами покриття, прогонами).

### 7.2.2 Встановимо додаткові характеристики для опорних раскосів.

Виділимо опорні раскоси:



Викличемо

Сталь.

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість:

3. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

☐ Матеріали: ДБН В.2.6-198:201 Варіант 1

Матеріал	Додаткові харак...	Обмеження підб...
<ні>	<ні>	<ні>

Жорсткості | 3/Б | **Сталь** | Кладка

Задання параметрів для сталевих конструкцій

1. Мінімальний

☒ Матеріал  
☐ Додаткові характеристики  
☐ Обмеження підбору

Додати...

Перейдемо в *Додаткові характеристики*, *Додати* і відзначимо у вікні тип елемента *Фермовий, опорний розкіс ферми*, коефіцієнт розрахункової довжини з площини ферми  $k_z = 1$ , в площині ферми  $k_y = 1$ .

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість:

3. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

☐ Матеріали: ДБН В.2.6-198:201 Варіант 1

Матеріал	Додаткові харак...	Обмеження підб...
<ні>	<ні>	<ні>

Жорсткості | 3/Б | **Сталь** | Кладка

Задання параметрів для сталевих конструкцій

☐ Матеріал  
☒ Додаткові характеристики  
☐ Обмеження підбору

Додати...

**ОК,  Застосувати.**

### 7.2.3 Виділяємо неопорні елементи решітки





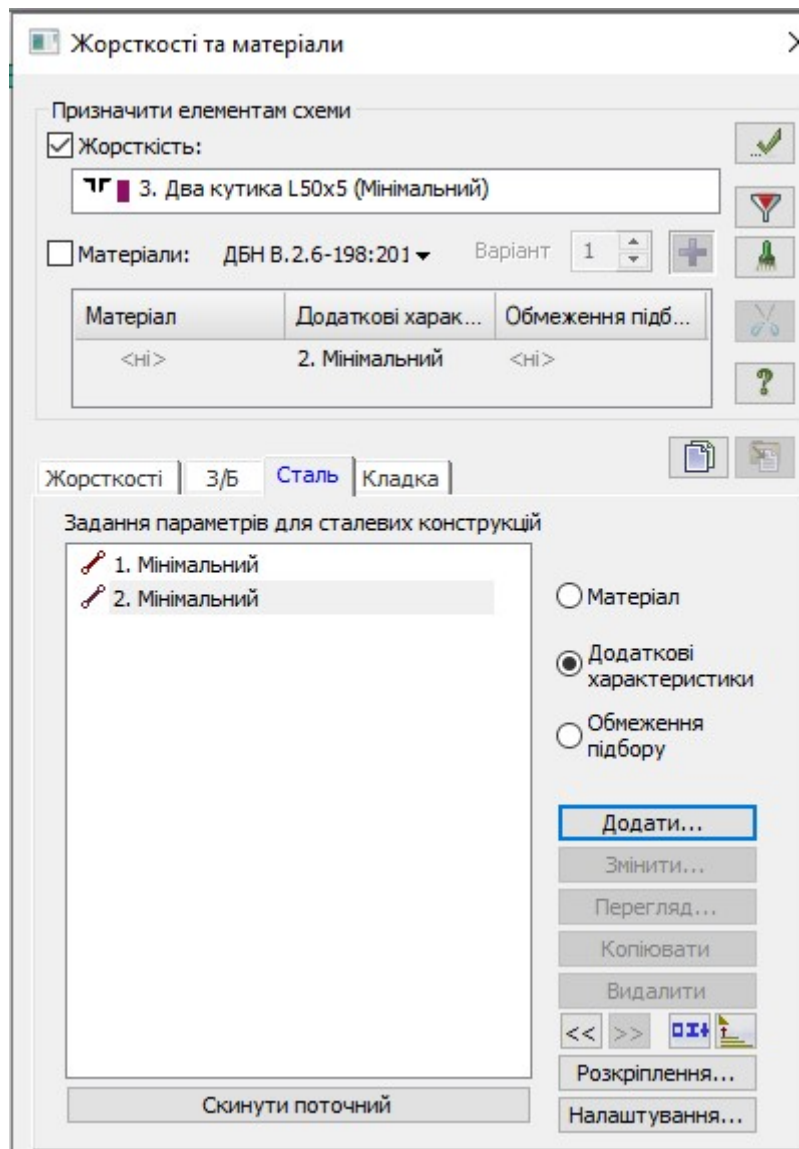
Перейдемо в *Додаткові характеристики, Додати* і відзначимо у вікні тип елемента **Фермовий, неопорний елемент решітки ферми**, коефіцієнт розрахункової довжини з площини ферми  $k_z=1$ , у площині ферми  $k_y=0,8$ .

Параметри

×

Норми проектування	ДБН В.2.6-198:2014
Номер	2
Коментар	Мінімальний
<b>Тип елемента</b>	
Фермовий	<input checked="" type="radio"/>
Колона	<input type="radio"/>
Балка	<input type="radio"/>
<b>Коефіцієнти умов роботи та надійності</b>	
Ус стійкості	1
Ус міцності	1
Уп	1
Додатковий Ус=0.8	<input type="checkbox"/>
<b>Гранична гнучкість</b>	
елемент поясу або опорний розкіс ферми	<input type="radio"/>
неопірний елемент решітки ферми	<input checked="" type="radio"/>
одиначний елемент структурної конструкції...	<input type="radio"/>
інший	<input type="radio"/>
На стиск	210-60a
На розтяг	300
<b>Розрахункові довжини</b>	
Kz	1
Ky	0.8
використовувати коефіцієнти довжини	<input checked="" type="checkbox"/>
<div> <div>Ky</div> <div>Коефіцієнт довжини відносно осі Y1 для розрахунку по стійкості та гнучкості в площині, перпендикулярній осі Y1</div> </div>	

ОК,  Застосувати.



Переходимо до призначення констуктивних елементів.

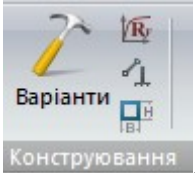

#### 7.2.4 Призначення констуктивних елементів

Конструктивний елемент - це сукупність кількох скінченних елементів, які під час конструювання розглядатимуться як єдине ціле. Якщо конструктивний елемент складається з елементів із призначеним матеріалом типу БАЛКА, то на схемі він позначатиметься КБ. Якщо конструктивний елемент складається з елементів з призначеним матеріалом типу КОЛОННА, то на схемі він буде позначений КК. Якщо конструктивний елемент складається з елементів з призначеним матеріалом типу ФЕРМА, то на схемі він буде позначений КФ.



У конструктивний елемент можуть входити тільки елементи з однаковим перетином. Елементи, що входять до конструктивного елемента, не повинні мати розривів, вони повинні мати один тип жорсткості, не входити до інших конструктивних елементів та уніфікованих груп, а також мати спільні вузли і лежати на одній прямій.

Для призначення конструктивного елемента необхідно виділити групу стрижнів

на розрахунковій схемі й активізувати пункти меню , . При цьому з'являється діалогове вікно **Конструктивні елементи**.

Новий конструктивний елемент створюється після натискання кнопки **Создать**.

Для створення нової уніфікованої групи конструктивних елементів необхідно виділити конструктивні елементи, вказати номер для групи (при встановленому прапорці **Нова**) і натиснути кнопку **Створити**.

У чому полягає відмінність між цими кнопками?

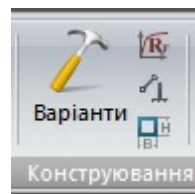
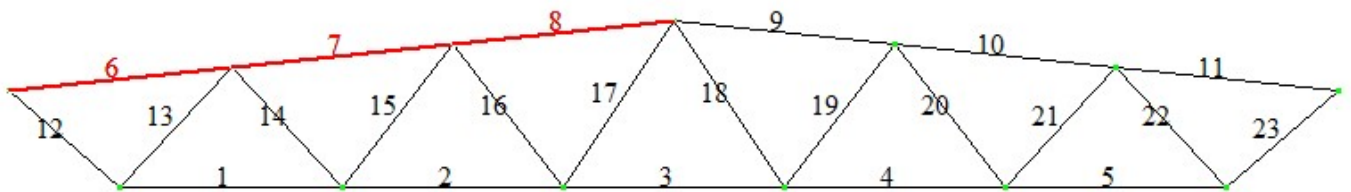
У першому варіанті («**Призначення конструктивних елементів**») ми можемо об'єднати кілька елементів в один, наприклад верхній або нижній пояс представити як один єдиний елемент. У цьому разі між усіма частинами елемента не повинно бути відрізків із шарнірами і всі вони мають бути з одного профілю. Це має бути нерозривний елемент.


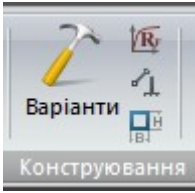
У другому варіанті «**Призначення уніфікованих груп конструктивних елементів**» ми призначаємо групу елементів, тобто всі елементи в групі матимуть однакові властивості, включно з довжиною, але водночас вони не обов'язково повинні з'єднуватися один з одним і мати однаковий профіль.

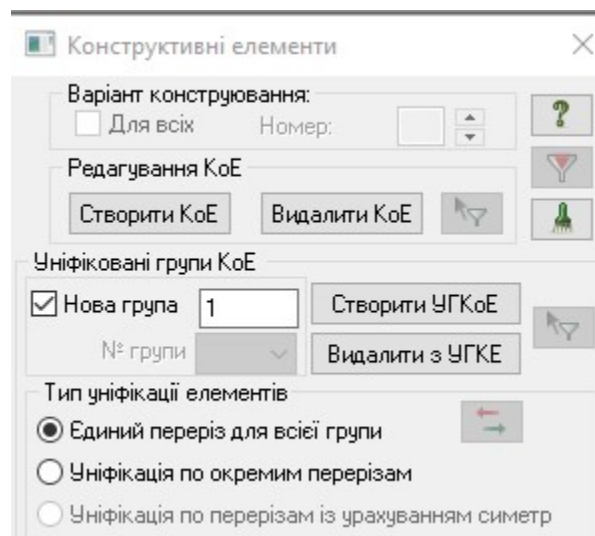
Виділяємо 3 групи конструктивних елементів з однаковими додатковими параметрами.

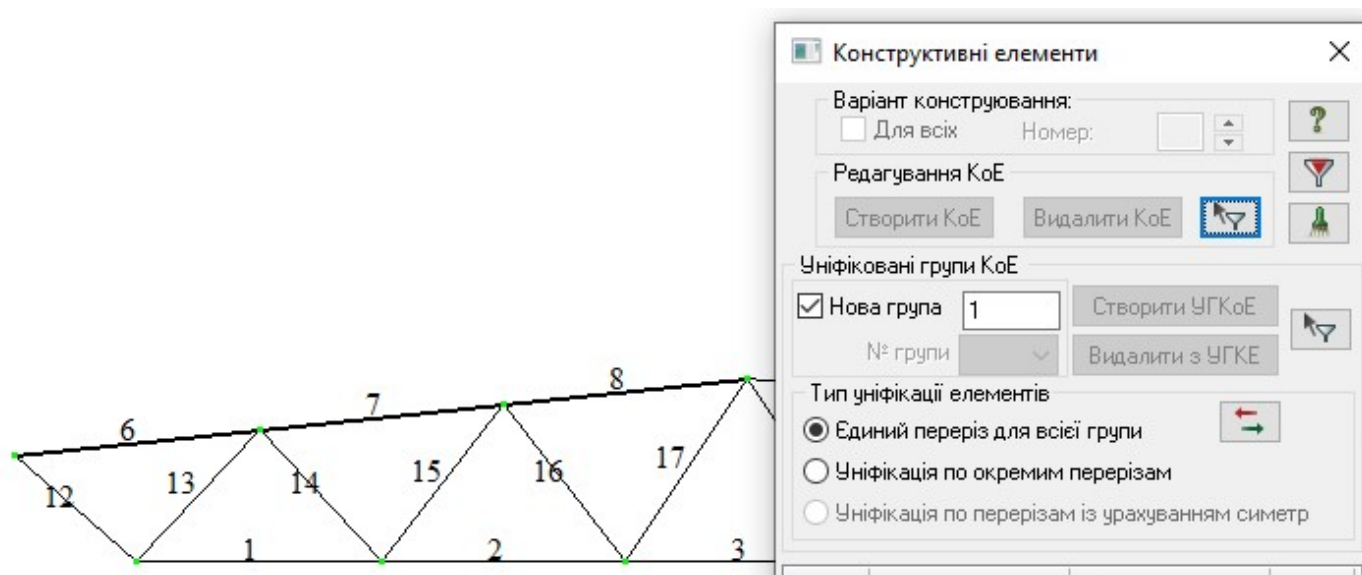
## 1. Конструктивний елемент "Ліва частина верхнього пояса" - ВП-л

Виділити групу стрижнів 6,7,8 на розрахунковій схемі.



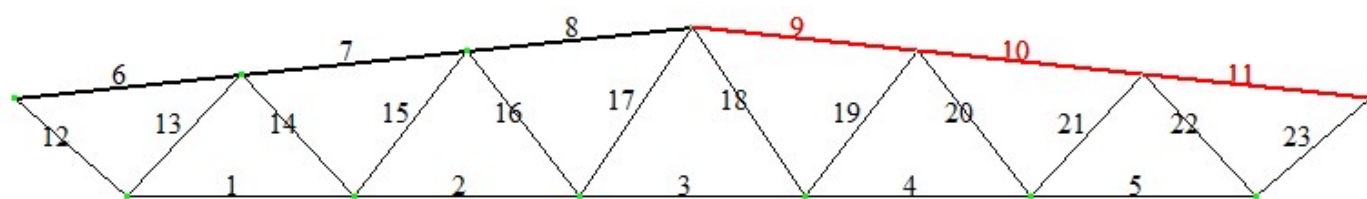
Активізувати пункти меню  во вкладці , **Створити КоЕ**





2. Конструктивний елемент "Права частина верхнього пояса" - ВП-пр

Виділити групу стрижнів 9,10,11 на розрахунковій схемі.



**Створити КоЕ.**

3. Конструктивний елемент "Нижній пояс" - НП

Виділити групу стрижнів 1...5 на розрахунковій схемі.

**Створити КоЕ**

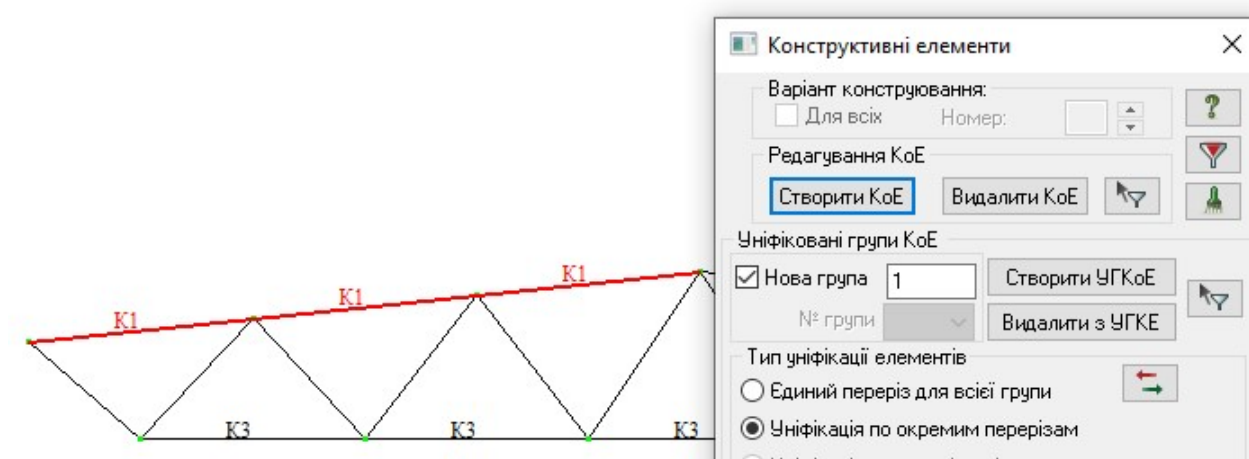



Під розрахунковою довжиною мається на увазі довжина стрижня між 2-ма вузлами, тобто розрахункова довжина для верхнього пояса дорівнює не довжині всього стрижня, а тільки довжині між вузлами з'єднання з розкосами.

Однак, у разі використання функції **«Призначення конструктивних елементів»**, програма рахує повну довжину стрижня. Тому, для коректного врахування розрахункової довжини прямолінійної частини верхнього пояса, необхідно поставити коефіцієнт розрахункової довжини  $1/3 = 0,33$ , тому що стрижень ділиться на 3 частини.

Якщо закріплення ферми з площини відбувається не у всіх вузлах, то розрахункову довжину в площині XOY призначають, виходячи з умов закріплення. *Наприклад, якщо нижній пояс зв'язками закріплений тільки по центру і краях (тобто ділить стрижень на 2-і рівні частини), то розрахункова довжина в площині XOY дорівнюватиме 0,5 геометричної довжини пояса).*

## 5. Виділяємо конструктивну групу K1



Виводом , **Сталь**.

Жорсткості та матеріали

Призначити елементам схеми

☒ Жорсткість: 3. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

☐ Матеріали: ДБН В.2.6-98:2009 Варіант 1

Тип:	Бетон:	Арматура:
< немає >	< немає >	< немає >

Жорсткості | 3/Б | Сталь | Кладка

Список типів жорсткостей

3. Два кутика L50x5 (Мінімальний)

Додати>>

Перейдемо в *Додаткові характеристики*, *Додати* і відзначимо у вікні тип елемента *Ферменный, пояс ферми*, коефіцієнт розрахункової довжини з площини ферми  $k_z=0.33$ , у площині ферми  $k_y=0.33$ .

Параметри	
Норми проектування	ДБН В.2.6-198:2014
Номер	3
Коментар	Мінімальний
<b>Тип елемента</b>	
Фермовий	<input checked="" type="radio"/>
Колона	<input type="radio"/>
Балка	<input type="radio"/>
<b>Коефіцієнти умов роботи та надійності</b>	
Ус стійкості	1
Ус міцності	1
Уп	1
Додатковий Ус=0.8	<input type="checkbox"/>
<b>Гранична гнучкість</b>	
елемент поясу або опорний розкіс ферми	<input checked="" type="radio"/>
неопірний елемент решітки ферми	<input type="radio"/>
одиначний елемент структурної конструкції...	<input type="radio"/>
інший	<input type="radio"/>
На стиск	180-60a
На розтяг	300
<b>Розрахункові довжини</b>	
Kz	0.33
Ky	0.33
використовувати коефіцієнти довжини	<input checked="" type="checkbox"/>
<p><b>Ky</b></p> <p>Коефіцієнт довжини відносно осі Y1 для розрахунку по стійкості та гнучкості в площині, перпендикулярній осі Y1</p>	
<div>OK</div> <div>Скасувати</div>	

ОК,  Застосувати.

## 6. Виділяємо конструктивну групу K2

Перейдемо в *Додаткові характеристики, Додати* і зазначимо у вікні тип елемента *Ферменный, пояс фермы*, коефіцієнт розрахункової довжини з площини ферми  $k_z=0.33$ , у площині ферми  $k_y=0.33$ .

Параметри	
Норми проектування	ДБН В.2.6-198:2014
Номер	3
Коментар	Мінімальний
<b>Тип елемента</b>	
Фермовий	<input checked="" type="radio"/>
Колона	<input type="radio"/>
Балка	<input type="radio"/>
<b>Коефіцієнти умов роботи та надійності</b>	
Ус стійкості	1
Ус міцності	1
Уп	1
Додатковий Ус=0.8	<input type="checkbox"/>
<b>Гранична гнучкість</b>	
елемент поясу або опорний розкіс ферми	<input checked="" type="radio"/>
неопірний елемент решітки ферми	<input type="radio"/>
одиначний елемент структурної конструкції...	<input type="radio"/>
інший	<input type="radio"/>
На стиск	180-60a
На розтяг	300
<b>Розрахункові довжини</b>	
Kz	0.33
Ky	0.33
використовувати коефіцієнти довжини	<input checked="" type="checkbox"/>
<p><b>Ky</b></p> <p>Коефіцієнт довжини відносно осі Y1 для розрахунку по стійкості та гнучкості в площині, перпендикулярній осі Y1</p>	
<div>OK</div> <div>Скасувати</div>	

ОК,  Застосувати.

Виділяємо конструктивну групу **K3**.

Перейдемо в *Додаткові характеристики, Додати* і відзначимо у вікні тип елемента **Фермовий, пояс ферми**, коефіцієнт розрахункової довжини з площини ферми  $k_z = 1$ , у площині ферми  $k_y = 0.2$

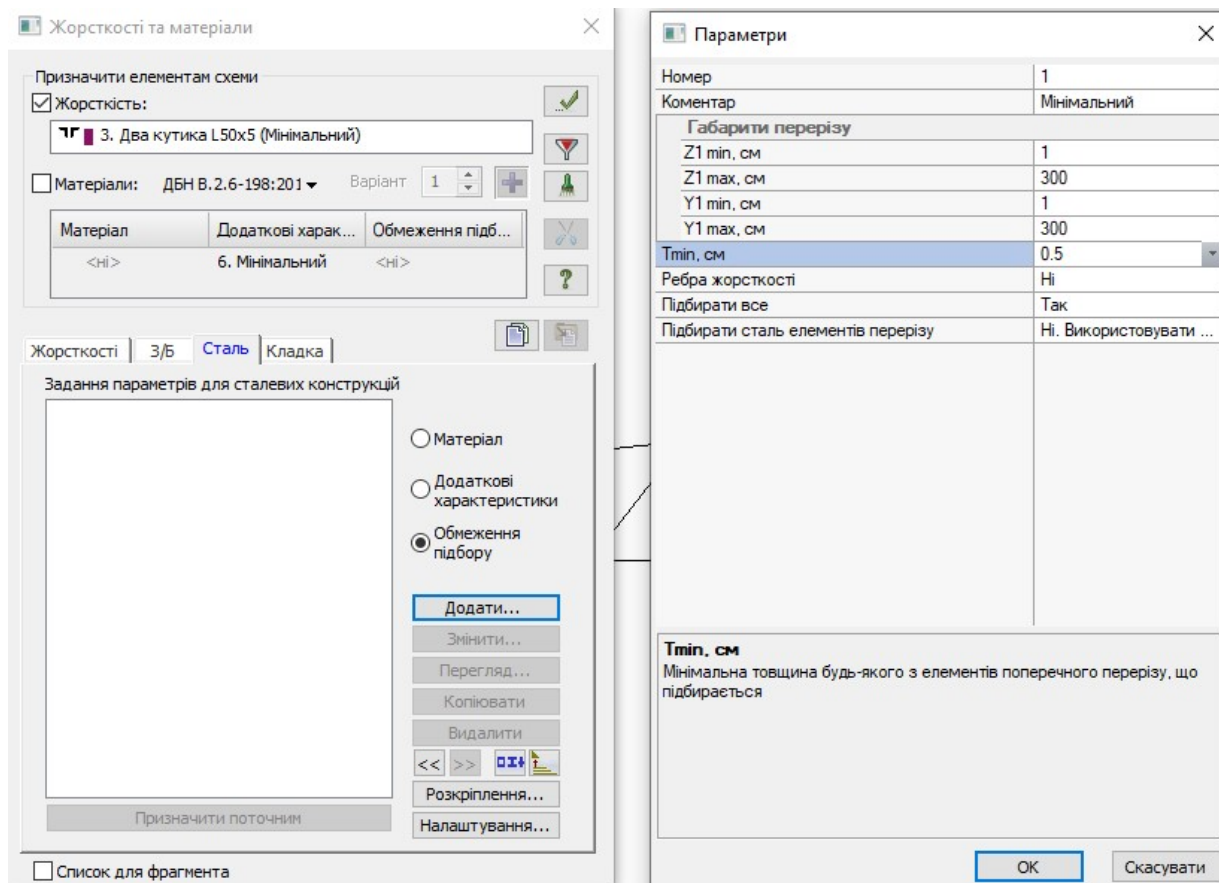


Параметри	
Норми проектування	ДБН В.2.6-198:2014
Номер	6
Коментар	Мінімальний
<b>Тип елемента</b>	
Фермовий	<input checked="" type="radio"/>
Колона	<input type="radio"/>
Балка	<input type="radio"/>
<b>Коефіцієнти умов роботи та надійності</b>	
Ус стійкості	1
Ус міцності	1
Уп	1
Додатковий Ус=0.8	<input type="checkbox"/>
<b>Гранична гнучкість</b>	
елемент поясу або опорний розкіс ферми	<input checked="" type="radio"/>
неопірний елемент решітки ферми	<input type="radio"/>
одиначний елемент структурної конструкції...	<input type="radio"/>
інший	<input type="radio"/>
На стиск	180-60а
На розтяг	300
<b>Розрахункові довжини</b>	
Kz	1
Ky	0.2
використовувати коефіцієнти довжини	<input checked="" type="checkbox"/>
<p><b>Ky</b></p> <p>Коефіцієнт довжини відносно осі Y1 для розрахунку по стійкості та гнучкості в площині, перпендикулярній осі Y1</p>	
<div> <div>OK</div> <div>Скасувати</div> </div>	

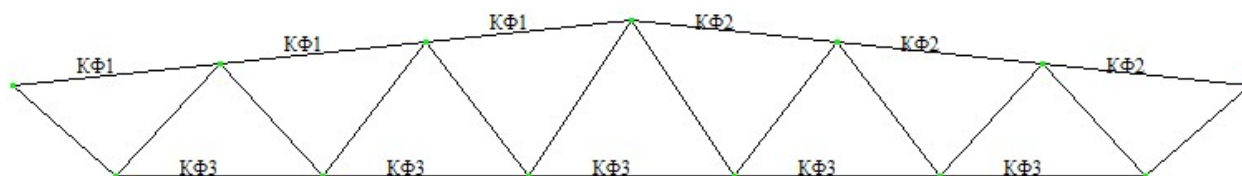
ОК,  Застосувати.

### 7.3 Введення обмежень підбору

Приймаємо єдине обмеження із запропонованих параметрів: товщина полиці куточка кроквяної ферми не менше ніж 5 мм.

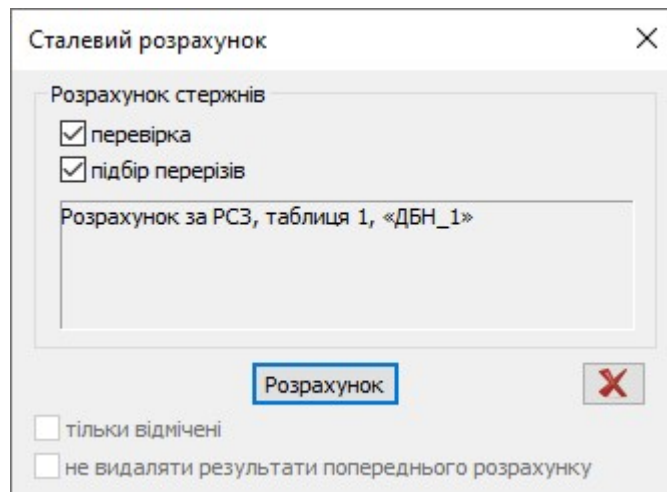


OK, Застосувати.



## 8. Перегляд та аналіз результатів конструювання

Після розрахунку задачі, перегляд і аналіз результатів конструювання здійснюється на вкладці **Конструювання**.



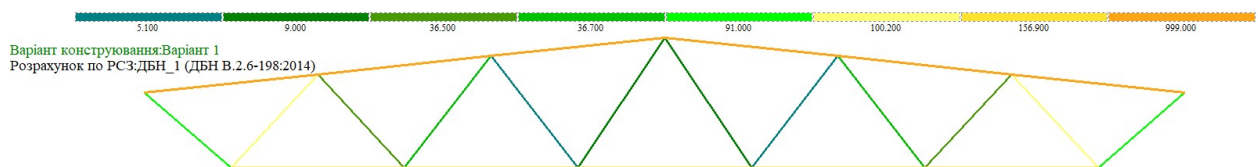
«Розрахунок».

## 8.1 Виведення на екран мозаїк результатів перевірки призначених перерізів сталевих стрижнів

□ Щоб подивитися мозаїку результатів перевірки призначених перерізів сталевих стрижнів за першим граничним станом, клацніть по кнопці – **Перевірка**,



**1ПС** (панель **Сталь**: перевірка і підбір на вкладці **Конструювання**).

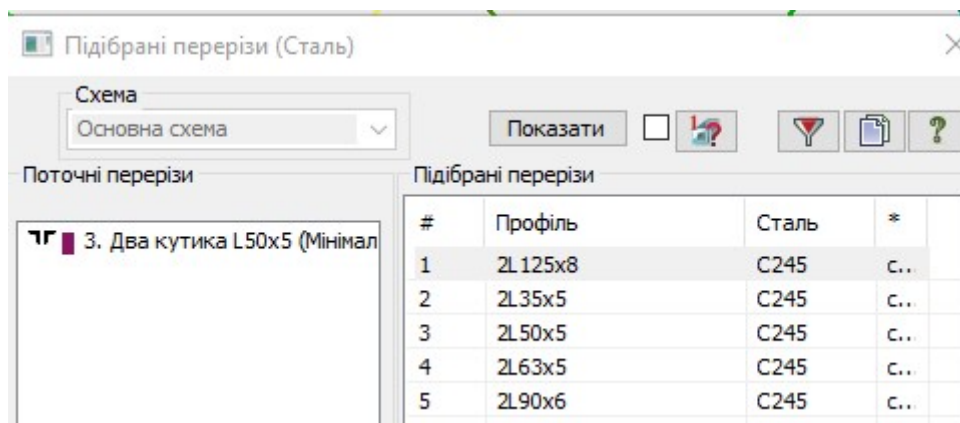


Елементи опорних розкосів, пояса перевантажені.

Програмою пропонується заміна призначених перерізів підібраними



(кнопка **Заміна**):

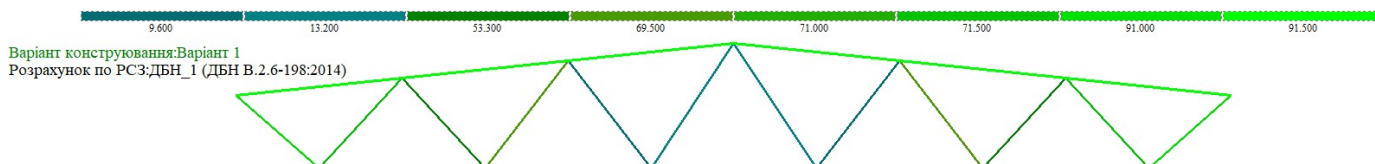


Після встановлення прапорця "**Номери підібраних перерізів**", елементам схеми буде присвоєно номер відповідного рядка таблиці Підібрані перерізи.

Прийнявши запропонований варіант комбінації перерізів: , отримаємо

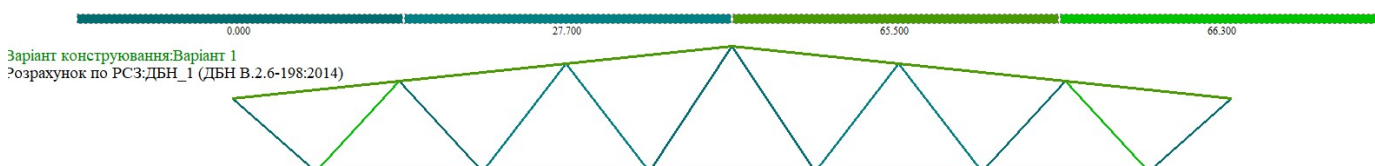
1. Мозаїку результатів перевірки підібраних перерізів сталевих стрижнів

по першому предельному состоянию, (щелкните по кнопке – **підбір 1ГС** (панель **Сталь**: перевірка і підбір на вкладці **Конструювання**).



2. Мозаїку результатів перевірки підібраних перерізів сталевих стрижнів за

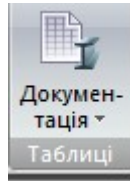
місцевою стійкістю, (клацніть по кнопці – **Перевірка, МС**



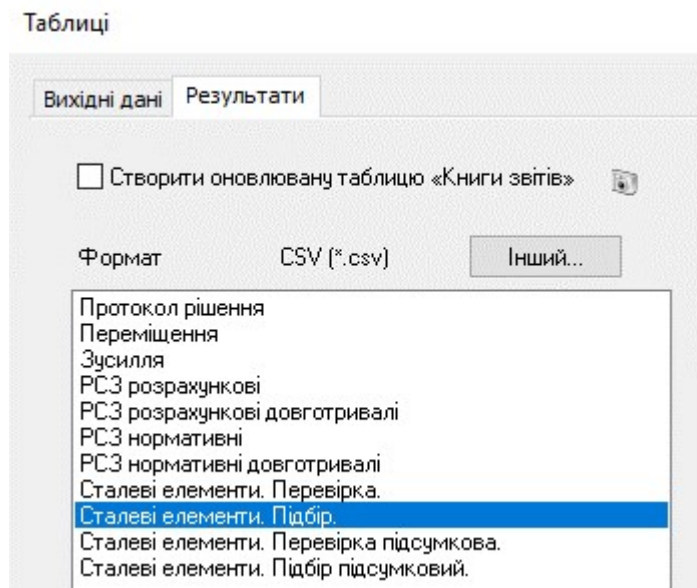
Перевірка пройдена.


## 8.2 Створення таблиці перевірки призначених перерізів

□ Викличте діалогове вікно **Таблиці результатів**, обрав команду – **Таблиці результатів для сталі** у випадаючому списку **Документація** (панель **Таблиці** на



вкладці **Конструювання**). □ У цьому вікні виділіть рядок **Перевірка**.



□ Клацніть по кнопці  – **Застосувати**

Фрагмент таблиці:

підбір перерізів ферми: Сталеві елементи. Підбір. [Варіант 1] (01)


ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	ГРУПА	П.ПЕР	КРОК	Примітка	нор %	СУ1 %	СЗ1 %	ГУ1 %	ГЗ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
1	Переріз: 3.1.6.1 Два кутка L50x5/ стиківка 0.6 см		Профіль: L50x5/ ДСТУ 2251:2018	Сталь: С245/ ДБН В.2.6-198:2014	Сортамент: Угловые стальные горячекатаные равнополочные (ДСТУ 2251:2018). Сокращенный сортамент Укра												
1	1	1	КФ1	1	0.00	1 - Підбрано: 3.1.6.1 Два кутка L125x8/ стиківка 0.6 см	17	19	40	21	76	0	66	40	76	66	6.03
1	6	2	КФ1	1	0.00		17	19	40	21	76	0	66	40	76	66	6.03
1	6	3	КФ1	1	0.00		17	19	40	21	76	0	66	40	76	66	6.03
1	7	1	КФ1	1	0.00		35	39	83	24	87	0	66	83	87	66	6.03
1	7	2	КФ1	1	0.00		35	39	83	24	87	0	66	83	87	66	6.03
1	7	3	КФ1	1	0.00		35	39	83	24	87	0	66	83	87	66	6.03
1	8	1	КФ1	1	0.00		38	43	92	25	91	0	66	92	91	66	6.03
1	8	2	КФ1	1	0.00		38	43	92	25	91	0	66	92	91	66	6.03
1	8	3	КФ1	1	0.00		38	43	92	25	91	0	66	92	91	66	6.03
1	9	1	КФ2	1	0.00		38	43	92	25	91	0	66	92	91	66	6.03
1	9	2	КФ2	1	0.00		38	43	92	25	91	0	66	92	91	66	6.03
1	9	3	КФ2	1	0.00		38	43	92	25	91	0	66	92	91	66	6.03
1	10	1	КФ2	1	0.00		35	39	83	24	87	0	66	83	87	66	6.03
1	10	2	КФ2	1	0.00		35	39	83	24	87	0	66	83	87	66	6.03
1	10	3	КФ2	1	0.00		35	39	83	24	87	0	66	83	87	66	6.03
1	11	1	КФ2	1	0.00		17	19	40	21	76	0	66	40	76	66	6.03
1	11	2	КФ2	1	0.00		17	19	40	21	76	0	66	40	76	66	6.03
1	11	3	КФ2	1	0.00		17	19	40	21	76	0	66	40	76	66	6.03
1	1		КФ3	2	0.00	2 - Підбрано: 3.1.6.1 Два кутка L90x6/ стиківка 0.6 см	53	0	0	24	86	0	0	53	86	0	10.00
1	1	2	КФ3	2	0.00		53	0	0	24	86	0	0	53	86	0	10.00
1	1	3	КФ3	2	0.00		53	0	0	24	86	0	0	53	86	0	10.00
1	2	1	КФ3	2	0.00		71	0	0	24	86	0	0	71	86	0	10.00
1	2	2	КФ3	2	0.00		71	0	0	24	86	0	0	71	86	0	10.00
1	2	3	КФ3	2	0.00		69	0	0	24	86	0	0	69	86	0	10.00
1	3	2	КФ3	2	0.00		69	0	0	24	86	0	0	69	86	0	10.00
1	3	3	КФ3	2	0.00		69	0	0	24	86	0	0	69	86	0	10.00
1	4	1	КФ3	2	0.00		71	0	0	24	86	0	0	71	86	0	10.00
1	4	2	КФ3	2	0.00		71	0	0	24	86	0	0	71	86	0	10.00
1	4	3	КФ3	2	0.00		71	0	0	24	86	0	0	71	86	0	10.00
1	5	1	КФ3	2	0.00		53	0	0	24	86	0	0	53	86	0	10.00
1	5	2	КФ3	2	0.00		53	0	0	24	86	0	0	53	86	0	10.00
1	5	3	КФ3	2	0.00		53	0	0	24	86	0	0	53	86	0	10.00
1	12			3	0.00	3 - Підбрано: 3.1.6.1 Два кутка L50x5/ стиківка 0.6 см	91	0	0	6	19	0	0	91	19	0	1.33
1	12	1		3	0.00		91	0	0	6	19	0	0	91	19	0	1.33
1	12	3		3	0.00		91	0	0	6	19	0	0	91	19	0	1.33
1	13			4	0.00	4 - Підбрано: 3.1.6.1 Два кутка L63x5/ стиківка 0.6 см	56	58	71	11	38	0	66	71	38	66	1.47
1	13	1		4	0.00		56	58	71	11	38	0	66	71	38	66	1.47

У таблиці міститься інформація про відсотки вичерпання несучої здатності елементів ферми за перерізами за нормальними напруженнями, граничними станами відносно місцевих осей елементів, загальною та місцевою стійкістю.

## 9. Експертиза зусиль

### 9.1 Аналіз результатів розрахунку по РСН

- ☐ Для перемикавання в режим результатів статичного розрахунку, виберіть

команду  – **Форма перемішень** у випадаючому списку **НДС схеми** (панель **Деформації** на вкладці **Аналіз**).


- ☐ Перейдіть на візуалізацію результатів розрахунку за РСН клацанням по кнопці

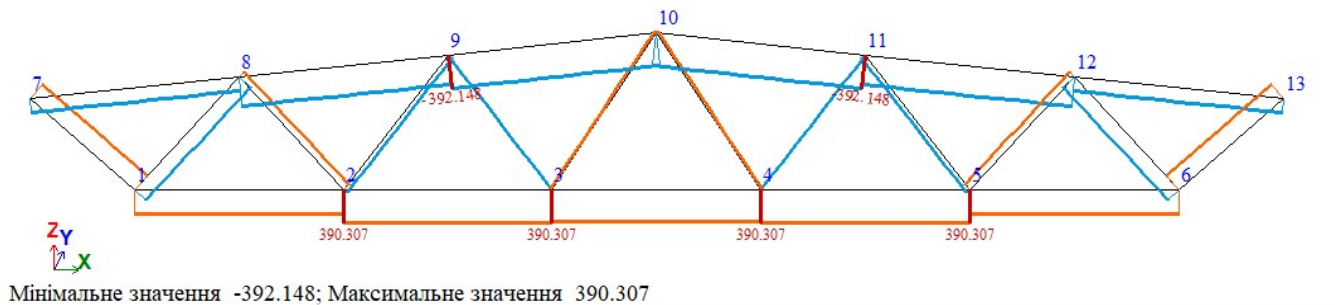
 (  ) – **Перейти до аналізу результатів по РСН** в строке состояния.



□ Для перемикання номера РСН, у рядку стану в розкритому списку **Змінити номер завантаження** виберіть рядок, що відповідає потрібному поєднанню, і

клацніть по кнопці  – **застосувати** .

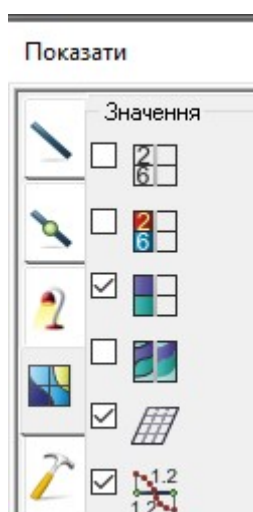
□ Для виведення епюри N, клацніть по кнопці  – **Епюри повздовжніх сил** (панель **Зусилля** в стержнях на вкладці **Аналіз**).

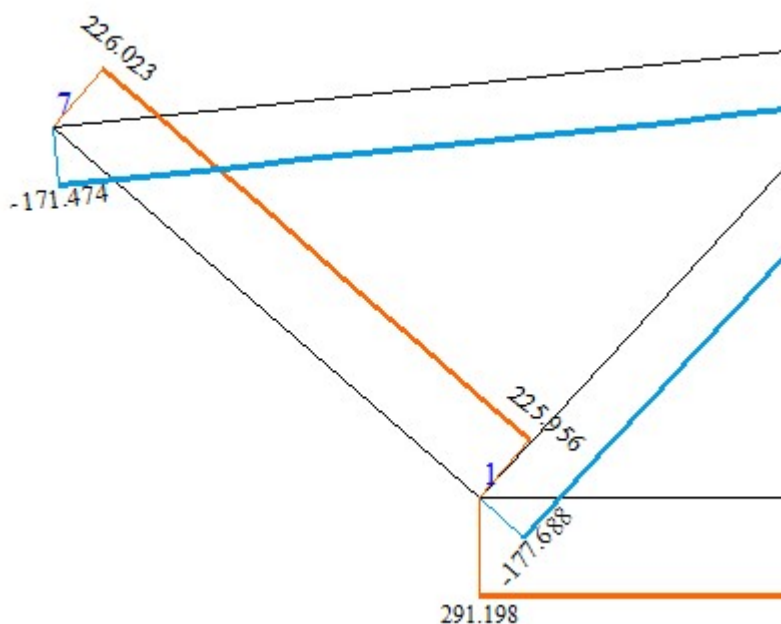


## 10. Підбір товщини фасонки

Стискальні навантаження у фермі досягають 392,148кН, розтягувальні - 390,3кН

Нас цікавлять зусилля в місцях з'єднання поясів із розкосами. Максимальне зусилля дорівнює 291кН в опорному вузлі №1 і 226кН у вузлі №7.





У таблиці 2 наведено рекомендації щодо підбору товщини фасонки залежно від зусиль у сполучених елементах:

Таблиця 2

Максимальне зусилля в стержнях решітки, кН	До 150	160	260	410	610	1010	1410	Більше 1800
		-	-	-	-	-	-	
		250	400	600	1000	1400	1800	
Товщина t, мм	6	8	10	12	14	16	18	20

Як бачимо, товщини 6 мм недостатньо для сполучень опорного розкоса у вузлах №1 і №7. Необхідно збільшити товщину фасонки відповідно до 10 мм і 8 мм, залишивши товщину 6 мм у фасонках розкосів решітки.

Водночас різниця в товщині фасонки між двома сусідніми вузлами не повинна перевищувати 2 мм (в окремих випадках не більше 4 мм). Товщина фасонки за умовами зварювання, як правило, вибирається не менше 0,8 товщини стінки куточка. Крім того, доцільно уніфікувати розміри фасонки до одного-двох типорозмірів.



Виходячи з викладеного, приймаємо одну товщину фасонки 10 мм.

## **11. Коригування підбору перерізів**

Здобувачу пропонується самостійно:

1. Підібрати перерізи елементів ферми з урахуванням зміненої товщини фасонки.
2. Провести симпліфікацію (уніфікацію) підібраних перерізів до рекомендованого числа типорозмірів.
3. Оцінити прогин ферми.
4. Оцінити масу ферми.

## Бібліографічний список

1. “Будівельна механіка”. Методичні вказівки до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ № 2 "Розрахунок плоскої статично визначеної ферми" для бакалаврів спеціальності 8.06010101 – “Промислове і цивільне будівництво” (російськ.) / Укл.: Портнов Г.Д., Пукалов В.В. – Кропивницький: КНТУ, 2016. – 30 с.
2. Будівельна механіка. В. Яременко, А. Куценко, М. Бондар. Видавництво Центр навчальної літератури. С. 2019 - 704с.
3. Дорошук Г.П., Трач В.М. Основи будівельної механіки: Підручник.- Рівне. УДУВГП, 2003. -504 с.
4. Яременко О.Ф., Шебанін В.С., Орлова А.М. та ін. Будівельна механіка у прикладах: Посібник,-Одеса, 2003. -246 с.
5. Чихладзе Е.Д. Будівельна механіка: Підручник.-Харків: УкрДАЗТ, 2002.-305с.
6. Баженов В.А., Іванченко Г.М., Шишов О.В. Будівельна механіка. Розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування. К.: Каравела, 2006.-343 с
7. Баженов В. А., Пельмутер А. В., Шишов О. В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології: підручник. – К.: Каравела, 2012. – 696 с.
8. Барабаш М.С., Кір'язєв П.М., Лапенко О.І., Ромашкіна М.А. Основи комп'ютерного моделювання. – К.: НАУ, 2019. – 500 с.
9. Барабаш М.С., Козлов С.В., Медведенко Д.В. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій. – К.: НАУ, 2019. – 572 с.

## Зміст

Вступ 5	
1. Загальний порядок добору перерізів елементів ферми	5
2. Вихідні дані	7
3. Проектування ферми	7
4. Збір навантажень на ферму	11
5. Створення комп'ютерної моделі в ЛІРА-САПР	14
5.1 Вибір типу схеми	14
5.2 Призначення перерізів елементів ферми	20
5.3 Призначення матеріалів	27
5.4 Візуалізація схеми	31
5.5 Закріплення ферми в просторі	36
5.6 Коригування типу скінченних елементів	40
5.7 Введення навантажень	41
5.8 Генерація таблиці РСУ	51
5.9 Генерація таблиці РСН	54
5.10 Завдання розрахункових перерізів	56
6. Розрахунок	57
7. Графічний аналіз	58
7.1 Перегляд та аналіз результатів статичного розрахунку	58
7.2 Завдання додаткових характеристик	59
7.3 Введення обмежень підбору	73
8. Перегляд та аналіз результатів конструювання	74
8.1 Виведення на екран мозаїк результатів перевірки призначених перерізів сталевих стрижнів	75
8.2 Створення таблиці перевірки призначених перерізів	77
9. Експертиза зусиль	78
9.1 Аналіз результатів розрахунку за РСН	78
10. Підбір товщини фасонки	79
11. Коригування підбору перерізів	81
Бібліографічний список	82