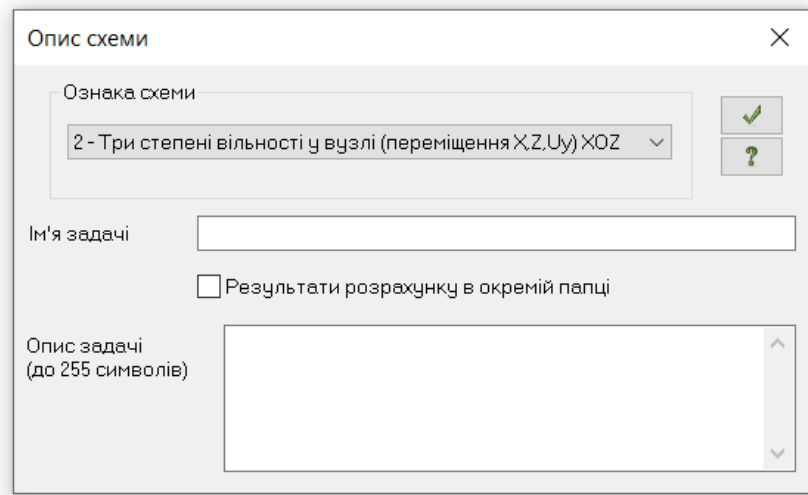


**Лабораторна робота 1.**  
**Створення, розрахунок та аналіз плоских стержневих систем**  
**в ПК Ліра САПР.**  
**Створення та розрахунок ферм.**

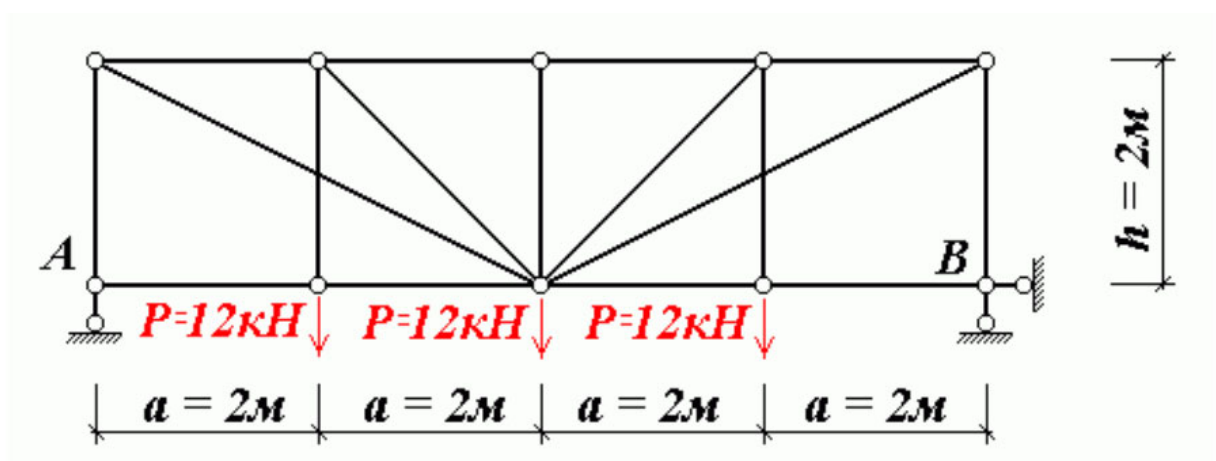
**1. Створення нової задачі.**

Обрати ознаку схеми 2 – Три степені вільності у вузлі (переміщення X, Z, Uy):




**2. Побудова плоскої стержневої моделі ферми.**

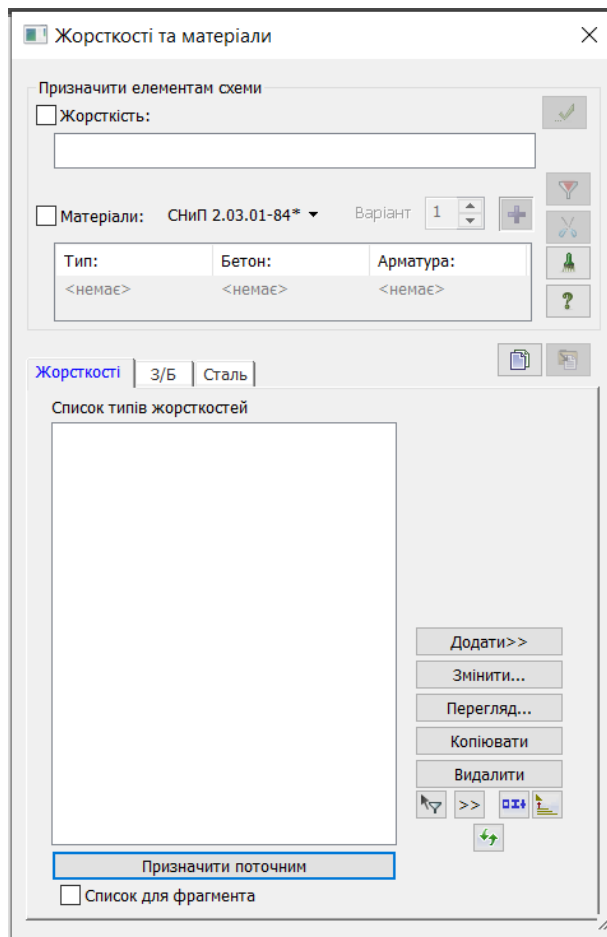
Використовуючи вузли та стержні задайте розрахункову схему ферми, запропонованої в Посібнику. Зверніть увагу, що при створенні розкосів слід вимкнути прапорець «Створювати вузли у місцях перетину...».



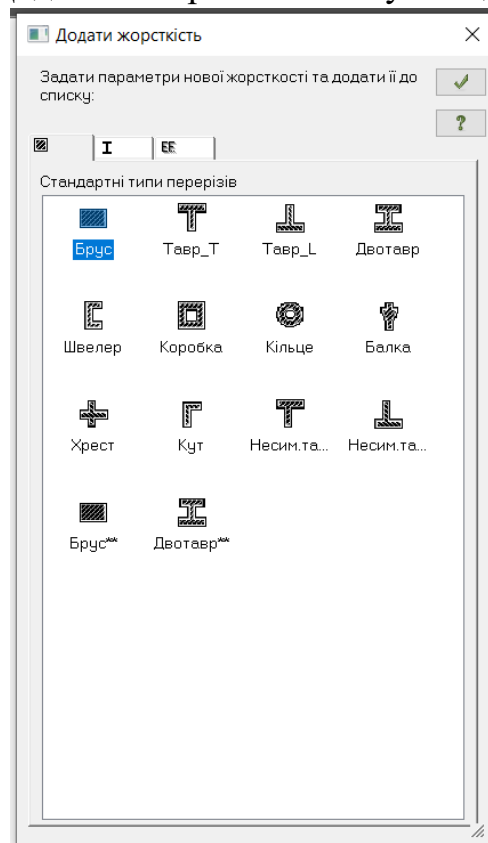
**3. Призначення жорсткостей елементам.**

Задайте довільні жорсткості елементам.

Відкрийте діалогове вікно «Жорсткості та матеріали». Для цього в меню «Жорсткості та в'язі» необхідно натиснути відповідну кнопку .




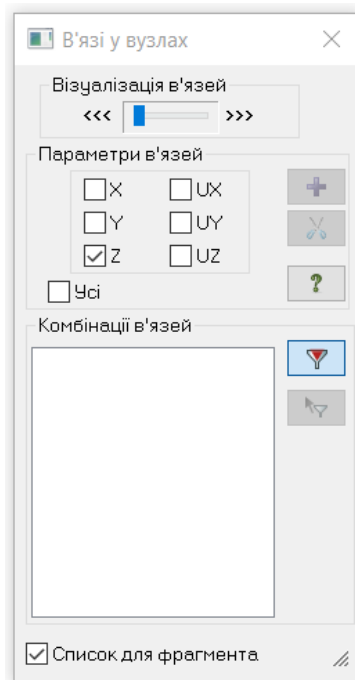
Натисніть кнопку «Додати» оберіть зі списку стандартних перерізів .



Задайте параметри поперечного перерізу.  
Підтвердіть та застосуйте жорсткість до обраних елементів.

#### 4. Накладання в'язів в опорних вузлах розрахункової схеми.

За допомогою функції «в'язі»  задайте опорні пристрої розрахункової схеми.



У діалоговому вікні вказуються напрямки, за якими потрібно заборонити переміщення вузлів - X, Y, Z, UX, UY, UZ. Наявність необхідних в'язей фіксується за допомогою установки відповідних прапорців. Потім слід виконати команду Застосувати для відмічених вузлів схеми. Видалення в'язей проводиться аналогічно.

Якщо в якому-небудь вузлі задана локальна система координат вузла, то в'язі будуть накладені за напрямками осей локальної системи координат.

#### 5. Задання навантажень на розрахункову схему.

На панелі «Навантаження» натисніть кнопку «навантаження», у вікні оберіть вкладку «Навантаження на вузли».

Загалом діалогове вікно містить закладки для задання навантажень на вузли, стержні, пластини тощо. Вікно містить також закладку для корегування або видалення навантажень поточного завантаження.

У вікні містяться радіо-кнопки для задання систем координат – глобальної або місцевої (для елемента), локальної (для вузла), напрямки впливу – X, Y, Z, а також кнопки для задання статичного навантаження (коричневий колір у діалоговому вікні та оливковий колір на схемі), заданого зміщення (жовтий колір) і динамічного впливу (рожевий колір). При натисканні цих кнопок викликається діалогове вікно для задання параметрів навантаження. Прикладені навантаження та впливи заносяться в полі списку навантажень – Поточне навантаження.



Оберіть навантаження «Зосереджена сила» та введіть величину, підтвердіть.

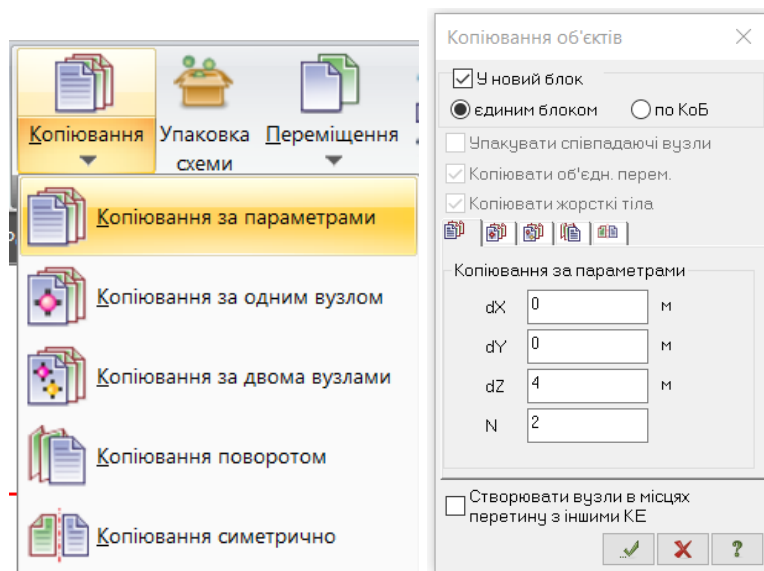
Виділіть вузол, до якого прикладена введена зосереджена сила та натисніть кнопку «Призначити поточне навантаження на виділені об'єкти».

Повторіть операцію прикладання навантажень з іншими зосередженими силами.

### Шарніри на кінцях стержнів ферми не задавайте.

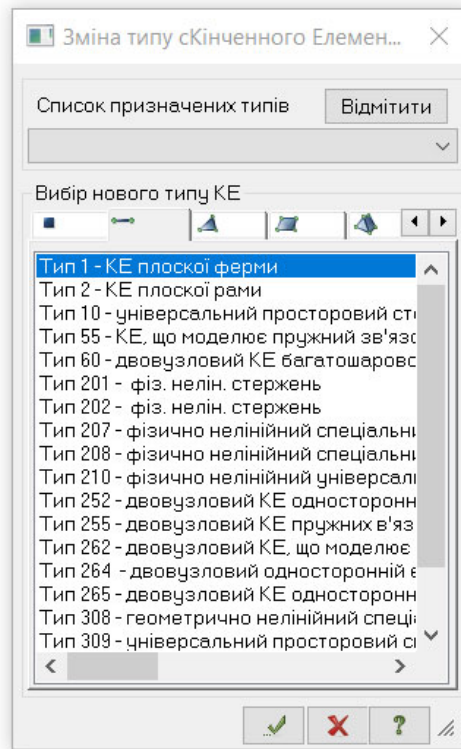
## 6. Створення двох копій заданої ферми.

Створіть дві копії розрахункової схеми за допомогою функції «Копіювання за параметрами»



Верхню ферму залишіть без змін (ферма з жорсткими фузлами)

Для ферми посередині змініть тип стержневих елементів на СЕ 1 – окремий випадок універсального скінченного елемента 10. Призначений для розрахунку плоских ферм, розташованих у площині  $XOZ$ . У кожному вузлі присутні 2 степеня свободи: переміщення уздовж осі  $X$ ; переміщення уздовж осі  $Z$ .





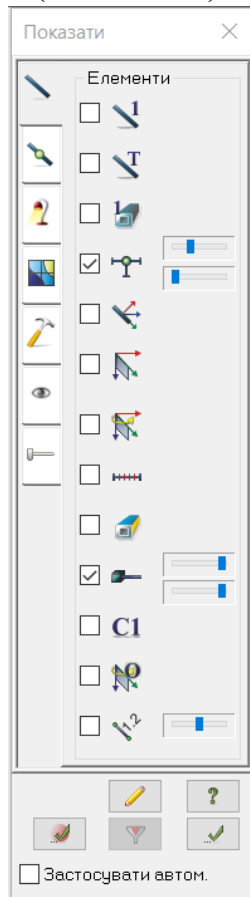
Для нижньої ферми введіть шарніри на кінцях стержнів.



Діалогове вікно призначене для задання шарнірів на початку (1-й вузол) та/або в кінці (2-ий вузол) стрижня. В ПК Ліра САПР під шарніром мається на увазі зняття або обмеження в'язі одного з кінців стержня з вузлом розрахункової схеми, а не встановлення лише простого циліндричного шарніра.

Шарнір може бути встановлений на початку (1-й вузол) та/або наприкінці (2-ий вузол) стержня за будь-яким ступенем свободи в місцевій системі координат цього стержня. Початок і кінець стержня визначаються напрямком місцевої осі  $X1$ . Допускається вводити як кутові (навколо осей  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$ ; позначаються  $UX$ ,  $UY$ ,  $UZ$ ), так і лінійні (вздовж осей  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$ ) шарніри.

Для кінців стержня за допомогою установки відповідних прапорців вказуються напрямки, за якими потрібно ввести шарніри (дозволити переміщення у вказаному напрямку).

Отже, перед встановленням шарнірів, необхідно з'ясувати, де знаходиться початок (1-й вузол) та кінець (2-ий вузол) стержня. Як було зазначено, початок і кінець стержня визначаються напрямком місцевої осі X1. Для ввімкнення локальних осей стержнів необхідно на панелі вибору знайти кнопку «Параметри відображення» ( або ).



У вікні, у вкладці «Елементи» знайти пункт «Місцеві осі стержнів»  та відмітити його, після чого натиснути кнопку Перемалювати (кнопка ).

На кожному стержні схеми з'явиться локальна система координат. Осі за кольором співпадають з глобальними, тобто вісь X1 – зеленого кольору. Напрямок осі – від початку і до кінця стержня (від 1-го до 2-го вузла).

У вікні шарніри дозволити переміщення для вузла стержня в напрямку, що відповідає простому циліндричному шарніру. Потім слід виконати команду «Застосувати» для відмічених елементів схеми.

## 7. Перенумерація вузлів та елементів.

За допомогою параметрів відображення увімкніть нумерацію вузлів та стержнів.

Виконайте перенумерацію вузлів та стержнів за допомогою функції «Перенумерація вузлів та стержнів».

Вибір об'єктів перенумерації здійснюється за допомогою установки відповідного прапорця в діалоговому вікні Перенумерація вузлів та елементів.

Тут же необхідно вказати критерій, відповідно з яким буде зроблено упорядкування нумерації.

Для вузлів допускається упорядкування тільки по комбінаціям координат.

Для елементів допускається упорядкування за наступними критеріями:

- за координатою центру ваги;
- за мінімальним номером вузла;
- за номером типу жорсткості;
- за типом скінченного елемента.

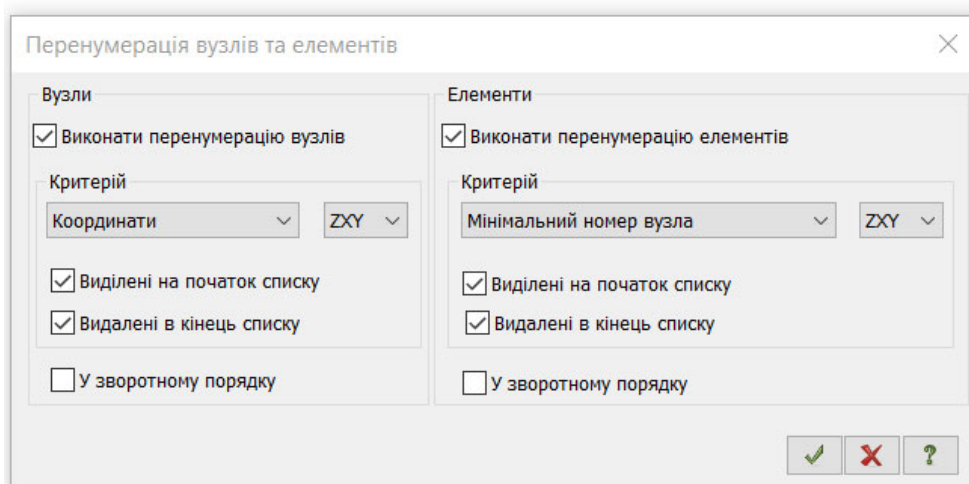
У полі зі списком координат містяться такі комбінації – X,Y,Z; X,Z,Y; Y,X,Z; Y,Z,X; Z,X,Y; Z,Y,X.

Вибір тієї чи іншої комбінації координат визначає напрямок упорядкування. Так, наприклад, при комбінації Y, Z, X впорядкування номерів буде зроблено спершу в напрямку осі Y, потім відповідно у напрямках осей Z і X.

Встановлений прапорець Виділені на початок списку дозволяє здійснювати перенумерацію, починаючи з виділених вузлів та/або елементів.


Встановлений прапорець Видалені в кінець списку дозволяє здійснювати перенумерацію видалених зі схеми вузлів та/або елементів в останню чергу.

Встановлений прапорець У зворотному порядку дозволяє встановити інверсний порядок упорядкування нумерації.

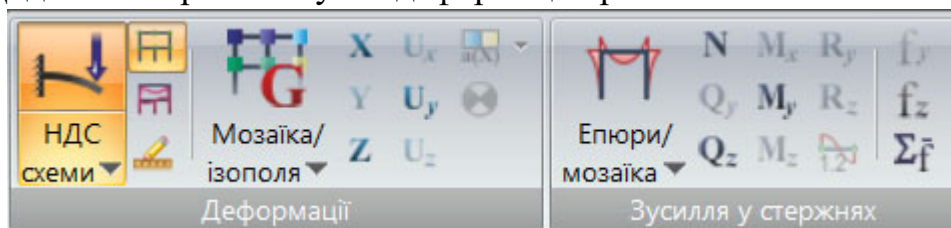


## 8. Розрахунок трьох розрахункових схем запропонованої ферми.


Перед розрахунком виконайте упаковку схеми.

Для розрахунку задачі перейдіть на вкладку розрахунок та натисніть кнопку «Виконати розрахунок» .

Для аналізу результатів перейдіть на вкладку «Аналіз». Проаналізуйте та порівняйте з результатами наведеними в підручнику внутрішні зусилля в стержнях. Додатково проаналізуйте деформації арки.



Через «Параметри відображення» відобразить значення на епюрах.

Повну інформацію про окремі вузли чи елементи можна отримати через кнопку «Інформація про вузол або елемент» .

За допомогою інтерактивних таблиць створіть Excel файл з зусиллями у стержнях ферми.

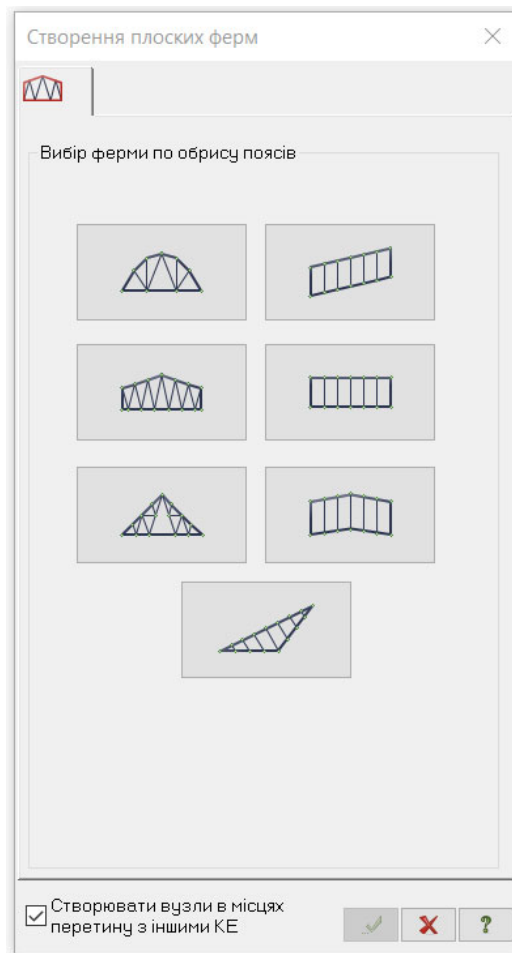
Проаналізуйте внутрішні зусилля, що виникли в стержнях ферми. Порівняйте результати між собою та з результатами, наведеними у посібнику.

## 9. Розрахунок з використанням ознаки схеми 1.

Замініть ознаку схеми на «Ознака 1 – схеми, що розташовуються в площині XOZ, лінійні переміщення вздовж осей X, Z». Виконайте упаковку схеми та розрахунок. Проаналізуйте внутрішні зусилля.

## 10. Створення нової задачі.

Ознайомтеся з функцією «створення плоских ферм»:



У діалоговому вікні Створення плоских ферм потрібно вибрати необхідну конфігурацію ферми по обрису поясів (перша закладка в діалоговому вікні), вказавши на кнопку з відповідним зображенням.

Після цього в діалоговому вікні з'являються кнопки з зображенням типів ферменних решіток (друга закладка).

Після натискання будь-якої з цих кнопок з'являється діалогове вікно (третья закладка) для задання чисельних параметрів, що визначають розміри ферми і її положення в глобальній системі координат. У цьому ж вікні відображається ескіз обраного варіанту ферми з літерними позначеннями параметрів, які необхідно задати для цього варіанту.

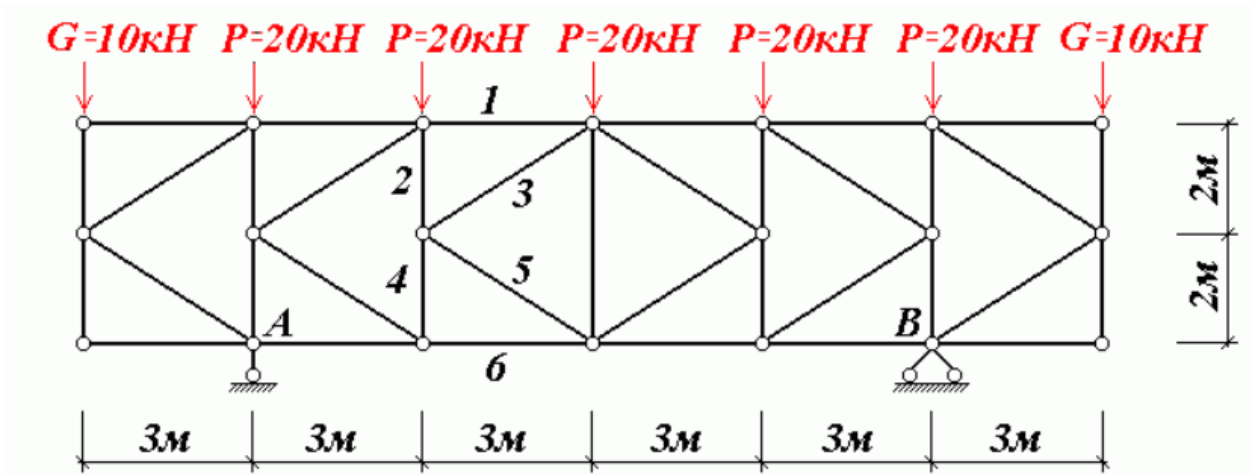
Після задання параметрів ескіз ферми, що генерується, з усіма розмірами можна відобразити за допомогою команди Намалювати.

При встановленому прапорці Вказати вузол прив'язки потрібно на розрахунковій схемі відмітити необхідний вузол стиковки. Якщо цей прапорець не встановлений, то відкривається доступ до відповідних полів, куди потрібно внести координати вузла схеми.

Стиковочний вузол ферми відмічено на малюнку жовтим кольором.

Вкажіть, як запропоновану схему можна створити швидше комбінованим способом.

Згенеруйте вказану в посібнику ферму:



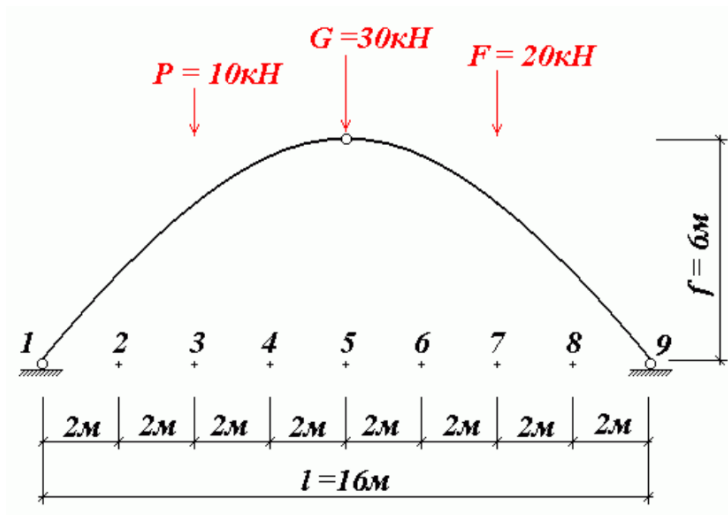
Виконайте дії необхідні для розрахунку та проаналізуйте внутрішні зусилля, що виникли у стержнях ферми та порівняйте з результатами, наведеними у посібнику.

### Розрахунок арок.

#### 1. Створення нової задачі.

Створюємо новий документ та обираємо ознаку схеми. Враховуючи, що виконуватись буде розрахунок плоскої стержневої системи, обираємо ознаку схеми «2 – Три степені вільності у вузлі (переміщення X, Z, Uy) XOZ».

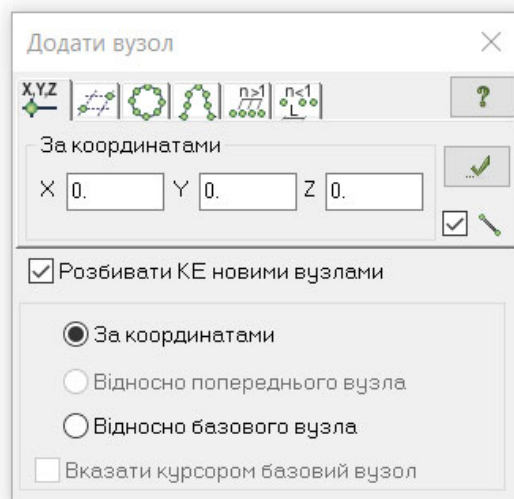
Для порівняння розрахунків задаємо арку, розв'язану в Посібнику. Геометрія осі вказаної арки описана параболою, стріла підйому - 8 м, прогін - 16 м. Розрахунок вівся на 9 перерізах арки, для яких розраховані параметри арки та внесені до таблиці.



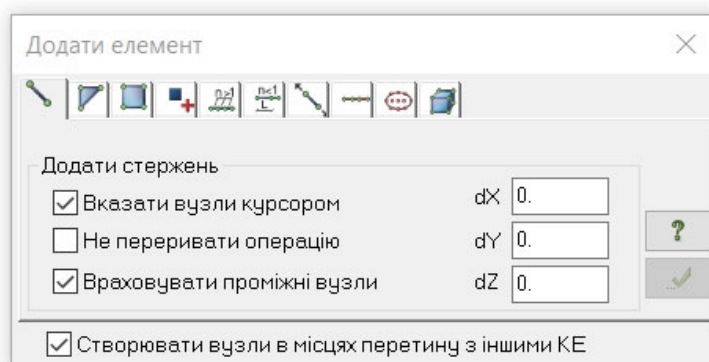
## 2. Задання геометрії задачі.

Для створення геометрії арки можна використати декілька способів.

Маючи, попередньо обраховані координати 9 перерізів арки, можна задати 9 вузлів за координатами. *Зверніть увагу на відповідність координатних осей.* Для цього в меню «Створення» обрати операцію «Додати вузол», в діалоговому вікні обрати «за координатами».



Після цього необхідно об'єднати вузли стержнями. Для цього в меню «Створення» обрати операцію «Додати елемент», в діалоговому вікні обрати «додати стержень». Почергово вказати на створені вузли.



Іншим підходом може бути формульне ведення вузлів схеми. Для арки, що задається вже виведено формулу, виходячи геометрії осі, стріли підйому та прогону:

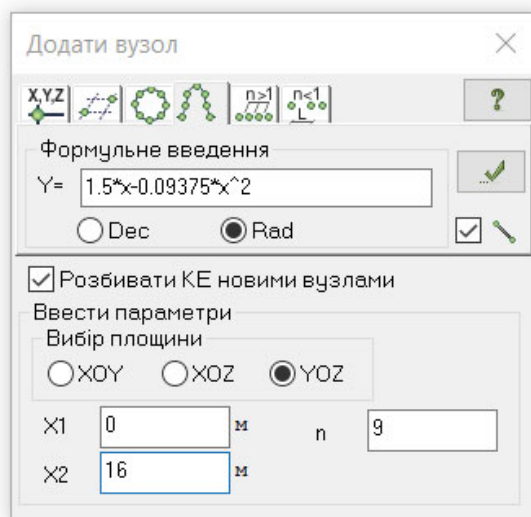
$$y = 1.5x - 0.09375x^2$$

Для створення об'єктів, описаних функцією, в меню «Створення» обрати операцію «Додати вузол», в діалоговому вікні обрати «формульне введення».

За допомогою довідки перегляньте, як подаються найпоширеніші операції та функції, та введіть формулу осі арки, що задається.

Залиште відмітку «З'єднати вузли стержнями», оберіть площину, що відповідає обраній ознаці схеми.

Введіть початкове (X1) та кінцеве (X2) значення аргументу функції (в нашому випадку функція арка мала початок координат в лівій п'яті), вкажіть кількість вузлів (n) на інтервалі [X1, X2].



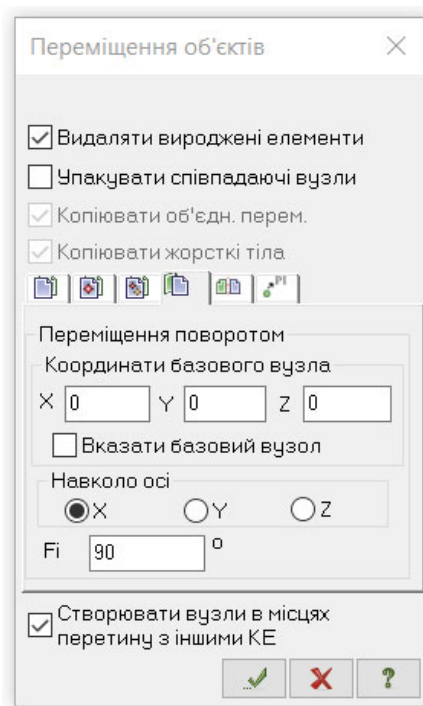
Іншим способом створення геометрії об'єктів, є їх імпорт накреслених та збережених в форматі dxf схем.

В ПК AutoCAD задайте точки, що за координатами відповідають перерізам арки. Об'єднайте їх сплайном. Дещо правіше задайте ще одну арку за допомогою полілінії за відомими координатами перерізів арки. Збережіть файл в форматі dxf.

Поверніться в ПК ЛІРА САПР. В головному меню наведіть курсор на пункт «Імпортувати задачу...» та у списку, що з'явився, натисніть «dxf файли» та оберіть збережений файл з кресленням арок.

В новому файлі з'являться об'єкти. Необхідно мати, на увазі, що в просторі моделі ПК AutoCAD креслення відбувається в площині XOY. Тому необхідно повернути об'єкти:

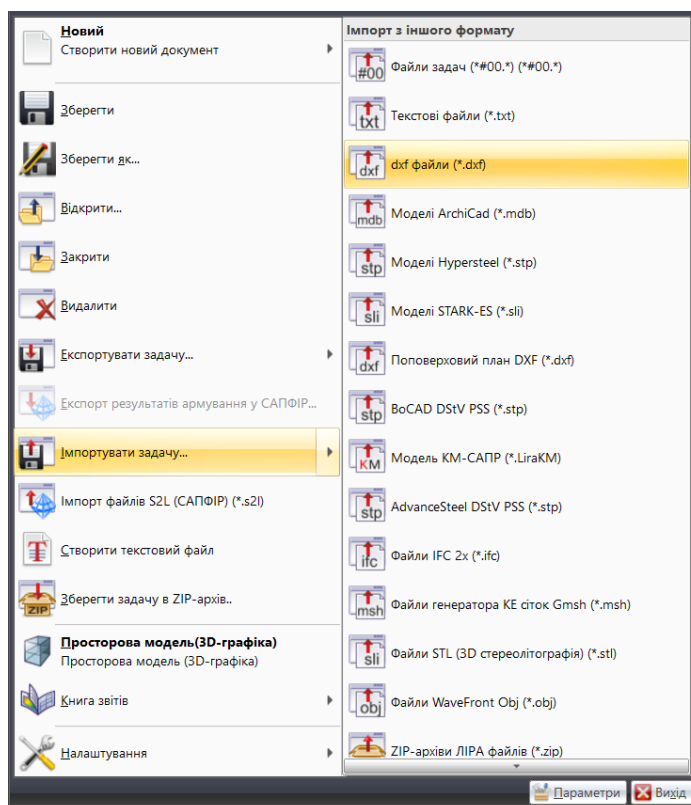
Виділіть всі вузли та елементи та в меню «Редагування» оберіть операцію «Переміщення поворотом». Виконайте обертання об'єктів навколо осі X на  $90^0$ .



*Також необхідно при такому створенні об'єктів необхідно змінити ознаку схеми в групі «Редагування».*

*В полі проєкцій перейдіть в проєкцію XOZ.*

*Зверніть увагу, що від арки, яка була побудована сплайном залишилися лише вузли (за умови, що точки не були видалені), а арка побудована за допомогою полілінії відображається коректно. Спробуйте пояснити це.*




### **3. Накладання в'язів в опорних вузлах розрахункової схеми.**

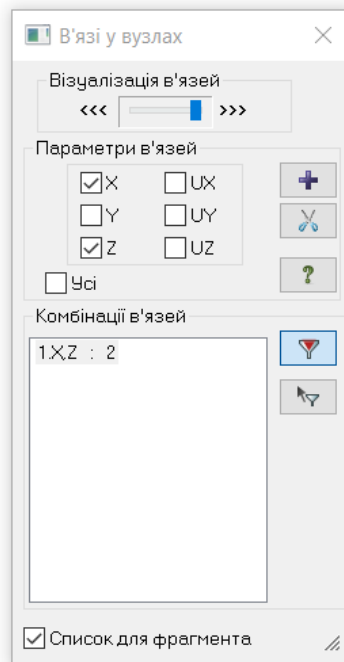
На наступному етапі необхідно встановити в'язі.

В'язі призначаються окремим вузлам та закріплюють розрахункову схему в просторі (на площині).

Для призначення в'язей необхідно виділити вузли, які будуть закріплюватись у відповідних напрямках.

В меню «Жорсткості та в'язі» натиснути кнопку «в'язі» .

У діалоговому вікні вказуються напрямки, за якими потрібно заборонити переміщення вузлів. Потім слід виконати команду «Застосувати для» відмічених вузлів схеми.

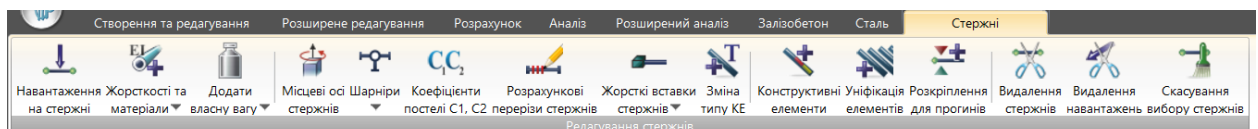


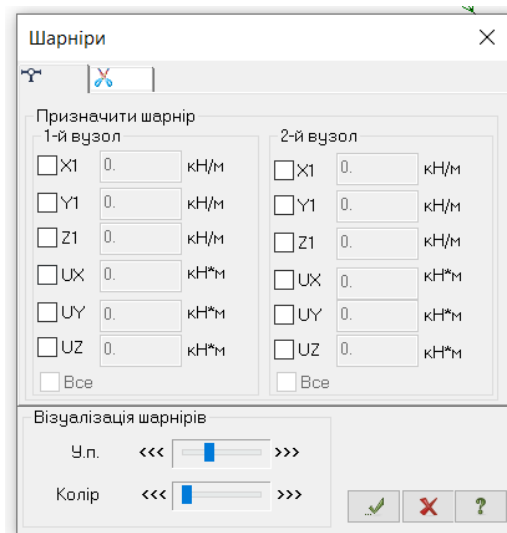
#### 4. Призначення умов примикання стержнів до вузлів.

Наступним кроком буде встановлення шарніра, що з'єднує напіварки.

Для встановлення простого циліндричного шарніра необхідно виділити один із стержнів що будуть поєднуватись шарніром.


Після виділення стержня на стрічковій панелі програми з'явиться меню «Стержні», на яке необхідно натиснути та віднайти кнопку «Шарніри».

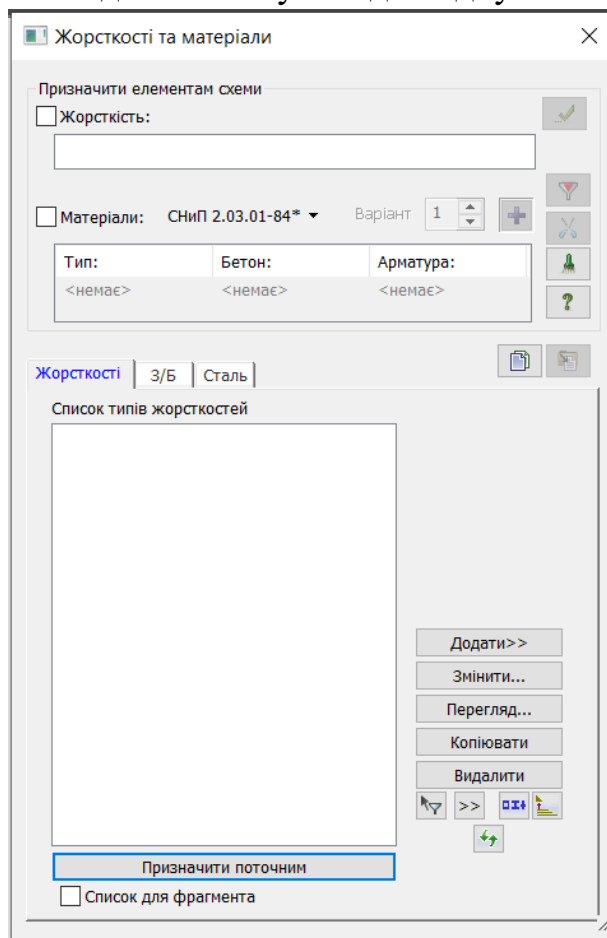




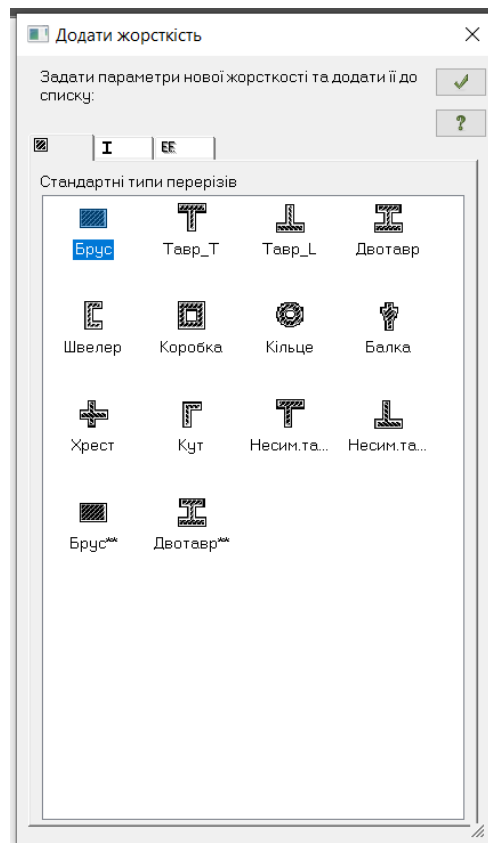
## 5. Призначення жорсткостей елементам.

Для розрахунку об'єктів необхідно задати жорсткості елементам розрахункової схеми.

Відкрийте діалогове вікно «Жорсткості та матеріали». Для цього в меню «Жорсткості та в'язі» необхідно натиснути відповідну кнопку .



Натисніть кнопку «Додати» оберіть зі списку стандартних перерізів «брус»



Задайте параметри поперечного перерізу.

Підтвердіть та застосуйте жорсткість до обраних елементів.

## 6. Задання навантажень на розрахункову схему.

Далі необхідно задати навантаження на арку.

На панелі «Навантаження» натисніть кнопку навантаження, у вікні оберіть вкладку «Навантаження на вузли».

Загалом діалогове вікно містить закладки для задання навантажень на вузли, стержні, пластини тощо, а також для задання навантажень для розрахунку на динаміку в часі. Вікно містить також закладку для корегування або видалення навантажень поточного завантаження.

У вікні містяться радіо-кнопки для задання систем координат – глобальної або місцевої (для елемента), локальної (для вузла), напрямки впливу – X, Y, Z, а також кнопки для задання статичного навантаження (коричневий колір у діалоговому вікні та оливковий колір на схемі), заданого зміщення (жовтий колір) і динамічного впливу (рожевий колір). При натисканні цих кнопок викликається діалогове вікно для задання параметрів навантаження. Прикладені навантаження та впливи заносяться в полі списку навантажень – Поточне навантаження.




Оберіть навантаження «Зосереджена сила» та введіть величину, підтвердіть.

Виділіть вузол, до якого прикладена введена зосереджена сила та натисніть кнопку «Призначити поточне навантаження на виділені об'єкти».

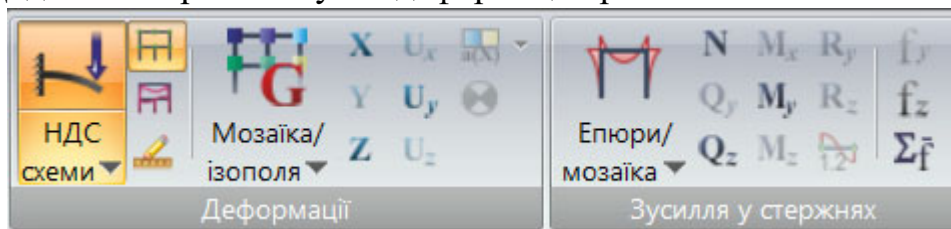
Повторіть операцію прикладання навантажень з іншими зосередженими силами.

## 7. Розрахунок та аналіз результатів.


Перед розрахунком виконайте упаковку схеми.

Для розрахунку задачі перейдіть на вкладку розрахунок та натисніть кнопку «Виконати розрахунок» .

Для аналізу результатів перейдіть на вкладку «Аналіз». Проаналізуйте та порівняйте з результатами наведеними в підручнику внутрішні зусилля в стержнях. Додатково проаналізуйте деформації арки.



Через «Параметри відображення» відобразіть значення на епюрах.

Повну інформацію про окремі вузли чи елементи можна отримати через кнопку «Інформація про вузол або елемент» .



Отримання результатів розрахунку для трьохшарнірної арки в табличному вигляді.

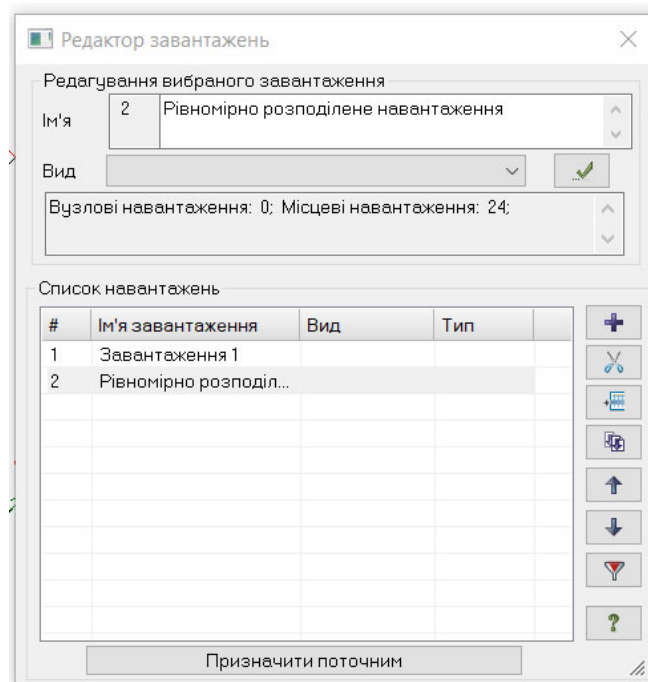
Перейдіть в режим аналізу та виділіть всі елементи трьохшарнірної арки.  
Натисніть «Документація», «Стандартні таблиці»

У вікні «Стандартні таблиці» оберіть пункт «Зусилля» у вибачаючому  
меню «Вибір завантажень» оберіть пункт «Вибрані». У списку «Номер  
завантажень» оберіть «Завантаження 1» на натисніть кнопку «Застосувати».

Збережіть отриману таблицю результатів.

## 8. Експеримент з безмоментною аркою.

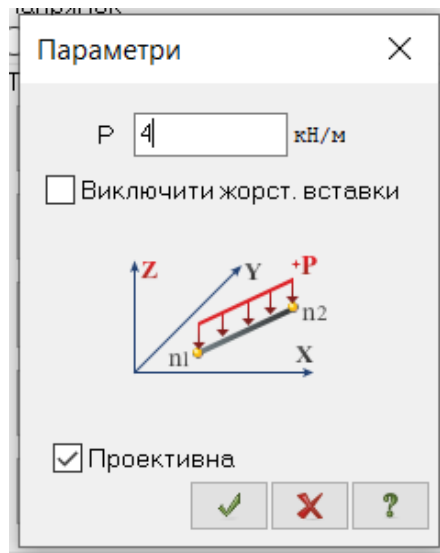
Поверніться у режим «Створення та редагування». Натисніть кнопку  
«Редактор завантажень»  у діалоговому вікні створіть нове завантаження   
та перейменуйте в «Рівномірно розподілене навантаження».



Перемикає номер завантаження можна і відповідній панелі рядочка  
стану



Виділіть усі стержні. Оберіть «Навантаження на стержні», тип  
навантаження: «Рівномірно-розподілене навантаження». Введіть  
інтенсивність 4 кН/м та поставте відмітку «проективна».



*Проективне навантаження на елемент - це навантаження, що діє за напрямом однієї з осей глобальної системи координат на проекцію цього елемента, ортогональну напрямку цього навантаження.*

*В нашому випадку інтенсивність навантаження незмінна вздовж осі X. Тобто інтенсивність навантаження має задаватися на проекцію кожного елемента, що складають арку, на вісь X.*

*Навантаження, яке не є проективним, задається на довжину елемента, а не його проекції. В нашому випадку довжини проекцій стержневих елементів на вісь X є рівними, однак довжини самих елементів різні і зменшуються до центру. Таким чином проекція такого навантаження на вісь X буде зменшуватися до центру арки. Таке прикладання сили відповідає навантаженню від власної ваги арки.*

Виконайте розрахунок та проаналізуйте отримані результати. Пригадайте, які арки називаються безмоментними та що впливає на утворення безмоментних арок.

*У випадку задання навантаження, яке не є проективним, фактично – врахування навантаження від власної ваги конструкції, раціональною формою арки буде ланцюгова лінія (катенарія) – лінія, форму якої набуває провисаюча нитка або ланцюг (звідси назва) із закріпленими кінцями.*

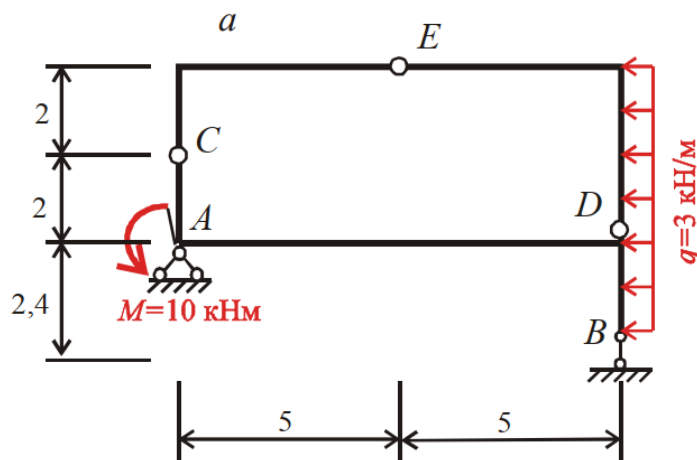
## **Лабораторна робота 2. Створення та розрахунок рам.**

### **1. Створення нової задачі.**

Створюємо новий документ та обираємо ознаку схеми. Враховуючи, що виконуватись буде розрахунок плоскої стержневої системи, обираємо ознаку схеми «2 – Три степені вільності у вузлі (переміщення X, Z, Uy) XOZ».

## 2. Побудова плоскої стержневої моделі рами.

Використовуючи вузли та стержні задайте розрахункову схему рами з Посібника.



За допомогою діалогового вікна «В'язі», вказати напрямки, за якими потрібно заборонити переміщення вузлів, змоделюйте опорні пристрої.

Встановіть шарніри на кінцях відповідних стержнів, за допомогою функції «Шарніри», установлюючи відповідні прапорці біля напрямків, за якими потрібно ввести шарніри (дозволити переміщення у вказаному напрямку).

Задайте рівномірно-розподілене навантаження на стержні, а також зосереджений момент у вузлі.

Задайте однакову довільну жорсткість для всіх стержнів, що входять до складу розрахункової схеми.

## 3. Розрахунок та аналіз результатів.

Упакуйте схему та виконайте розрахунок.

Проаналізуйте отримані епюри внутрішніх зусиль та порівняйте наведені в посібнику.

Можна помітити, що знаки епюри  $Q$  на деяких ділянках не співпадають (залежить від алгоритму побудови рами в програмі).

Зверніть увагу на правила знаків зусиль у стержнях:

- $N$  – Розтяг.
- $M_y$  – Розтяг нижнього волокна (відносно напрямку осі  $Z1$ ).
- $Q_z$  – Збіг з напрямком осі  $Z1$  для перерізу, що належить кінцю стержня.

Увімкніть місцеві осі стержнів. Вісь  $X1$  завжди йде вздовж стержня, осі  $Z1$  та  $Y1$  будуються за правилами правої трійки, тому взаємопов'язані.

Можна помітити, що стержні, де епюра не співпала, мають напрямок  $Y1$ , протилежний глобальній осі  $Y$ . Отже потрібно, змінити напрямок  $Y1$ .

#### **4. Внесення змін у розрахункову схему.**

В режимі створення та редагування оберіть стержні, де слід змінити напрямок місцевих осей.

В контекстній вкладці «Робота зі стержнями» оберіть «Міцеві осі стержнів» та задайте кут 180 градусів або направте вісь  $Y_1$ , активувавши відповідну радіо-кнопку, та вкажіть умовну точку за розрахунковою областю, вказавши досить велику додатню координату  $Y$  (в такому випадку можна виділити всі стержні).

#### **5. Повторний розрахунок та аналіз результатів.**

Виконайте розрахунок. Проаналізуйте отримані епюри внутрішніх зусиль та порівняйте наведені в посібнику.

За допомогою інтерактивних таблиць отримайте Excel файл з внутрішніми зусиллями в стержнях.

Зверніть увагу, що зусилля отримані лише для двох перерізів (початок і кінець стержнів).

#### **6. Створення додаткових розрахункових перерізів стержнів.**

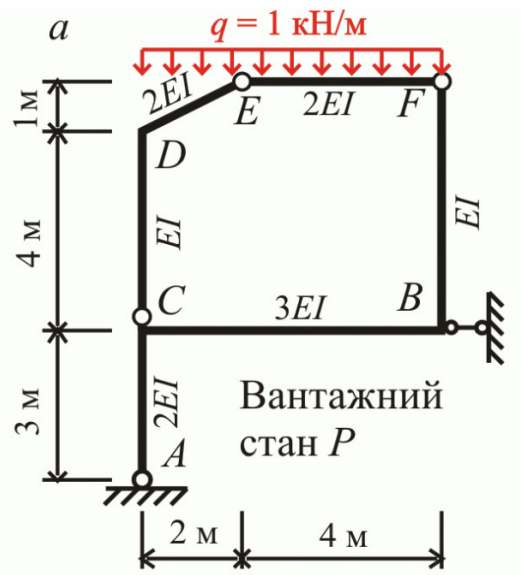
В режимі створення та редагування виділіть всі стержні та контекстній вкладці «Робота зі стержнями» у вікні «Розрахункові перерізи стержнів» вкажіть більшу кількість перерізів стержневих елементів (наприклад – 5), в яких обчислюються зусилля і напруження (за умовчанням вона дорівнює двом - на початку і в кінці стержня). Рекомендується задавати непарну кількість перерізів стержневих елементів, тоді стержень ділиться на парну кількість ділянок однакової довжини.

#### **7. Повторний розрахунок та аналіз результатів.**

Виконайте розрахунок. За допомогою інтерактивних таблиць отримайте Excel файл з внутрішніми зусиллями в стержнях.

#### **8. Створення нової задачі.**

Задайте геометрію наступної розрахункової схеми, наведеної в посібнику.



Для цього використаємо функцію генерації регулярних фрагментів та сітей на панелі створення.

Створення плоских фрагментів та сітей

Генерація рами  
Кут повороту відносно осі Z: 0

Координати першого вузла  
 Вказати курсором  
X: 0 м  
Y: 0 м  
Z: 0 м

Вибір площини  
 XOY  XOZ  YOZ  
 Довільна  
 Вказати вузли

Крок вздовж першої осі  
Значення Кількість

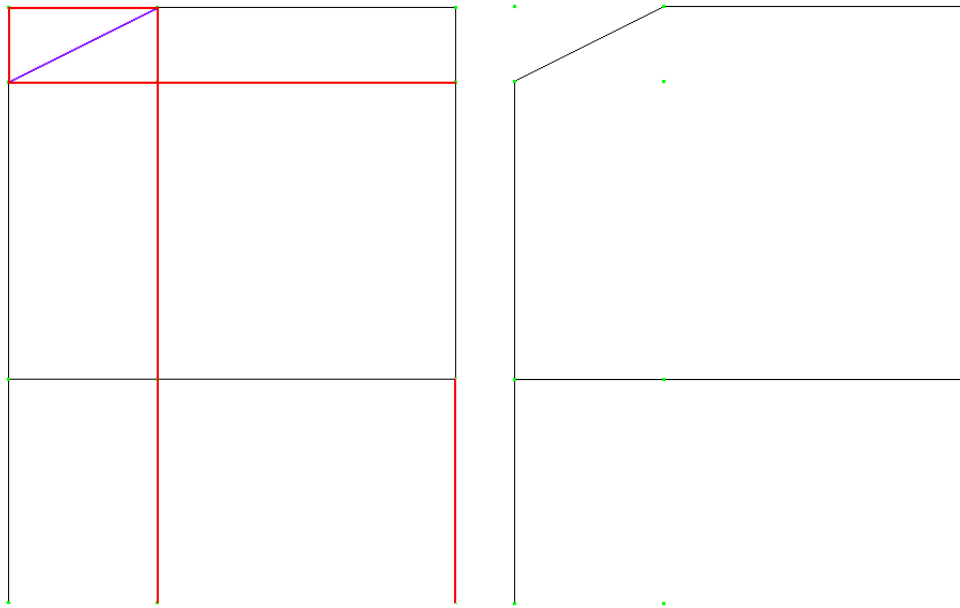
L(m)	N
2.00	1
4.00	1

Крок вздовж другої осі  
Значення Кількість

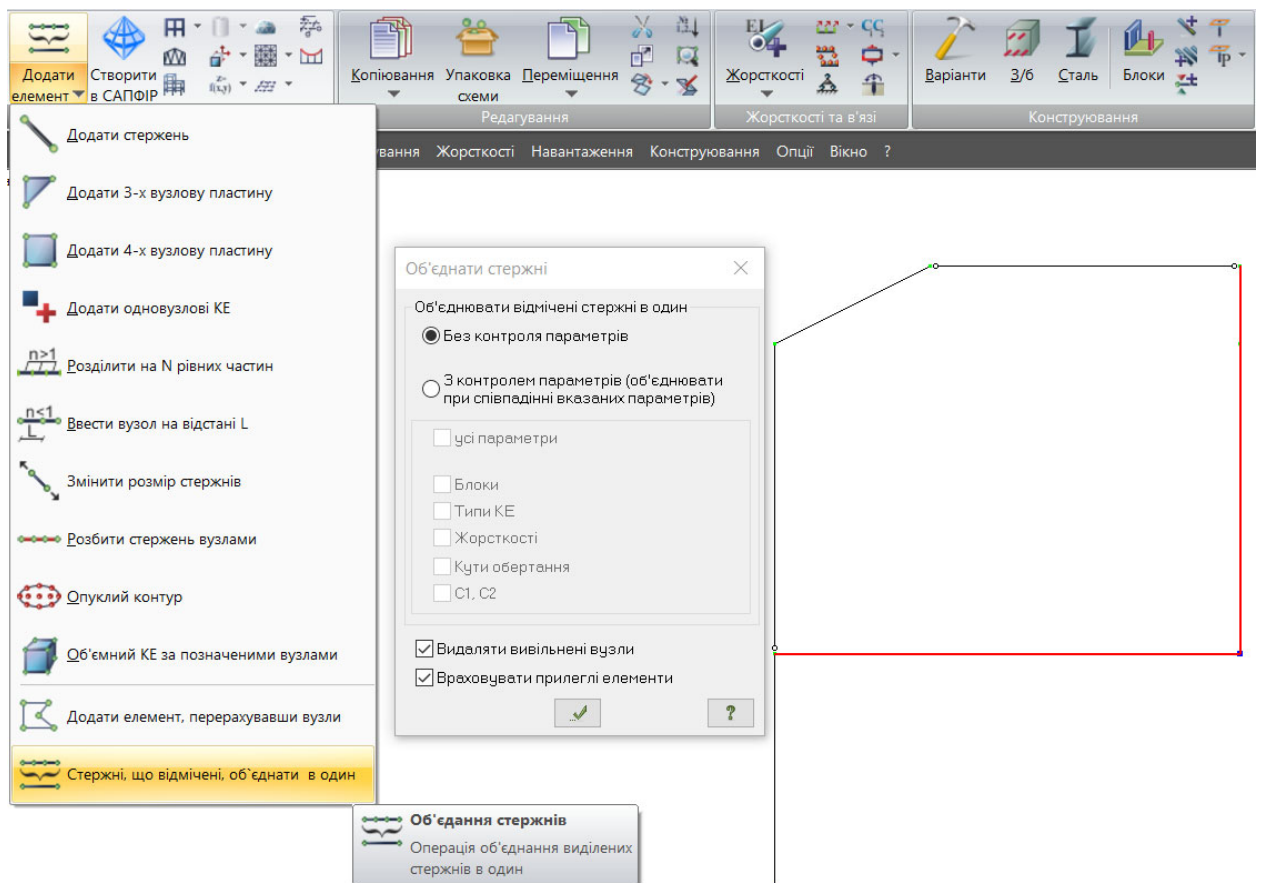
L(m)	N
3.00	1
4.00	1
1.00	1

Створювати вузли в місцях перетину з іншими KE

Видаліть зайві елементи та додайте необхідні.



Нижній горизонтальний, та правий вертикальний стержні можна об'єднати в один за допомогою відповідної команди на панелі створення:



Зайві «висячі» вузли можуть швидко бути видалені шляхом упаковки схеми, обов'язково необхідно відмітити прапорець «Висячі» вузли.

Упаковка

Зшивання

Виконати зшивання

0.0001 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 можливість 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

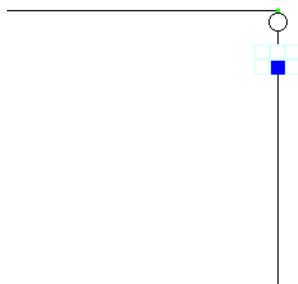
1e-016 м Величина модуля

Виконувати автозбереження перед початком упаковки

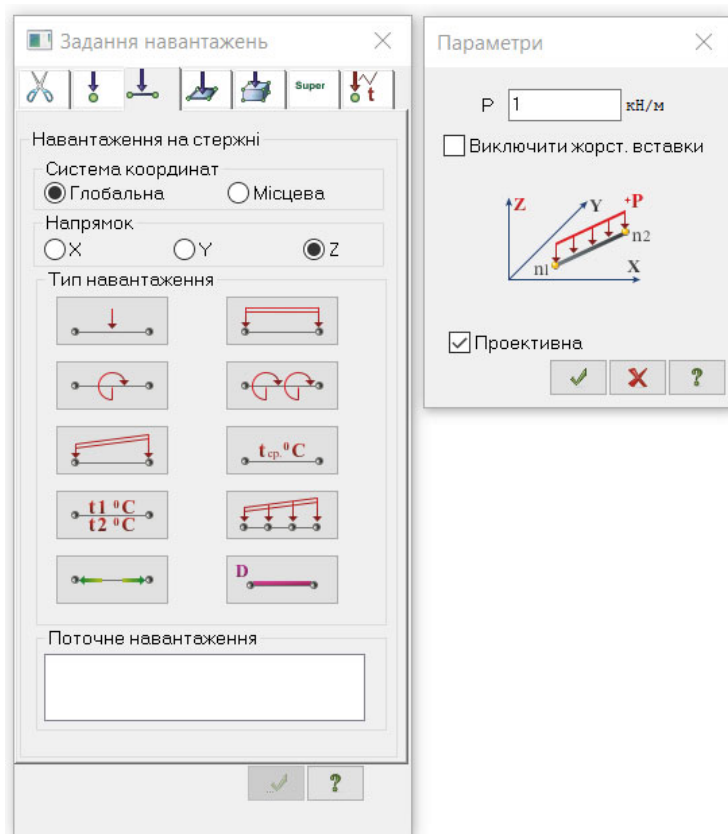
Параметри за умовчанням

Задайте необхідні з'єднувальні пристрої за допомогою вікон «Вязі» та «Шарніри».

Шарнір у вузлі F змоделюйте на кінці вертикального стержня.

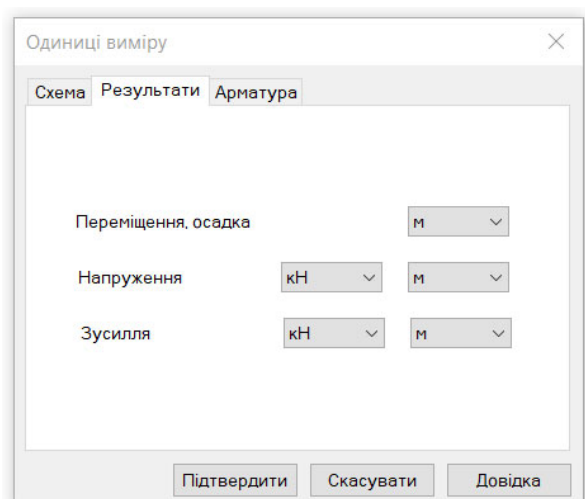
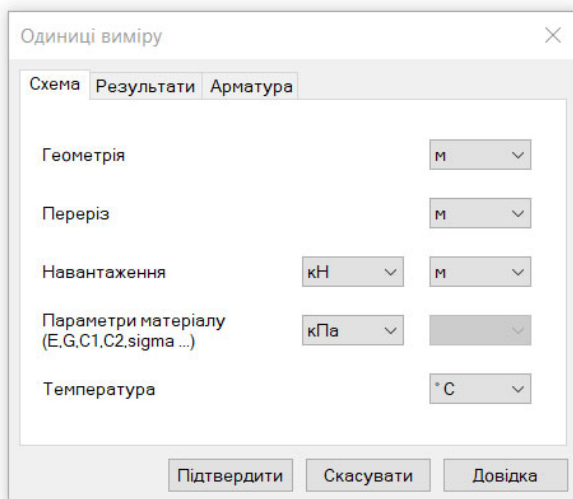


Задайте рівномірно-розподілене навантаження. Не забудьте відмітити прапорцем «Проективна».



## 9. Зміна одиниць виміру

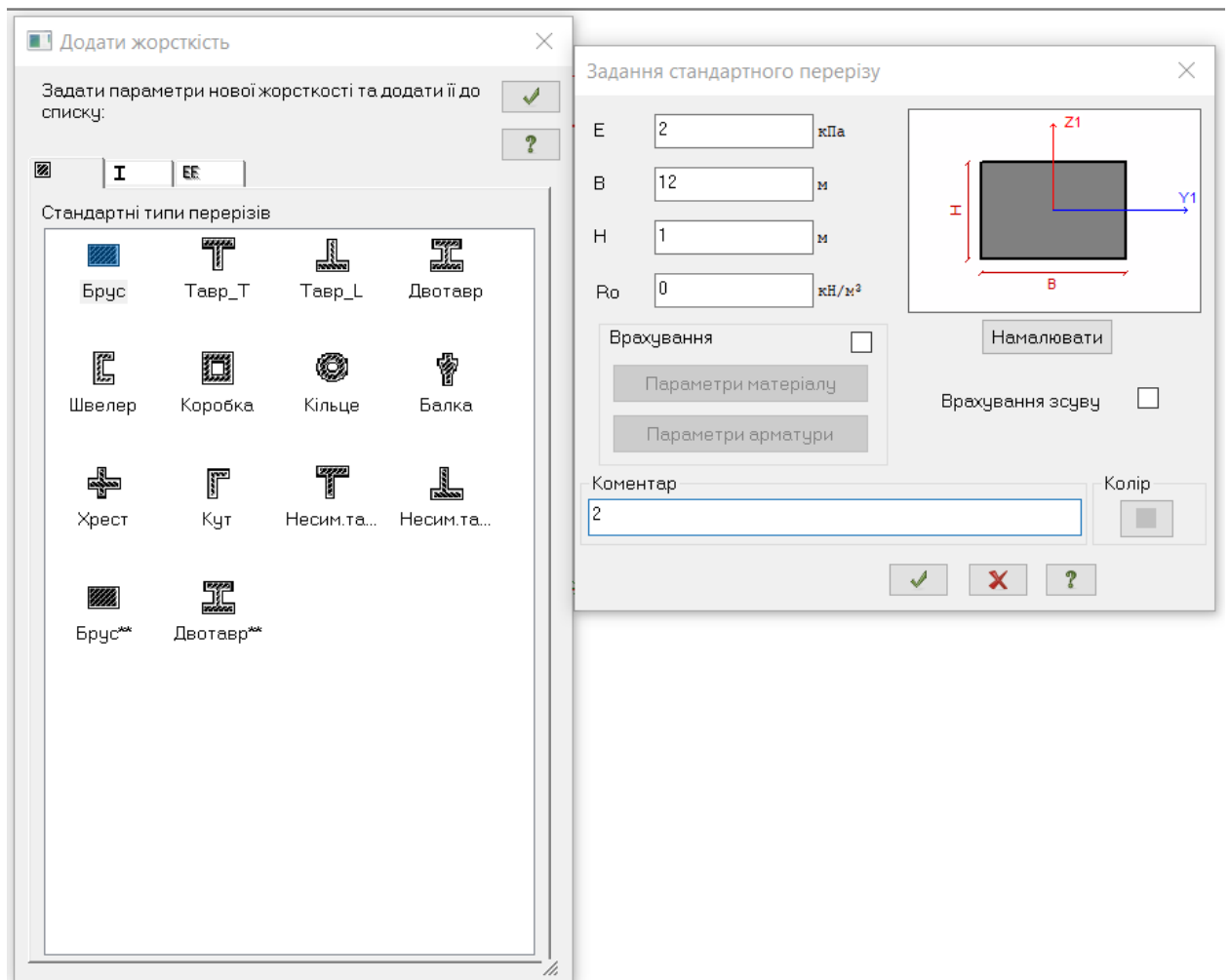
Для майбутнього аналізу переміщень та порівняння з посібником, перед заданням жорсткості, для зручності в налаштуваннях змініть одиниці виміру, звівши всі одиниці виміру у вкладках «Схема» та «Результати» до кН та м (параметри матеріалу в кПа, тобто  $\text{kN/m}^2$ ).



## 10. Призначення жорсткостей елементам.

Як видно з умови, в задачі задано співвідношення жорсткостей. Тому встановимо жорсткість стержнів за наступним алгоритмом. Поперечний переріз – брус, модуль пружності –  $N$  (коефіцієнт перед  $EI$  в умові, яким будемо змінювати співвідношення жорсткостей),  $V=12$ ,  $H=1$  (для того, щоб

момент інерцію дорівнював 1), для зручності залиште коментар – число, яке задає співвідношення жорсткості.



## 11. Розрахунок та аналіз результатів.

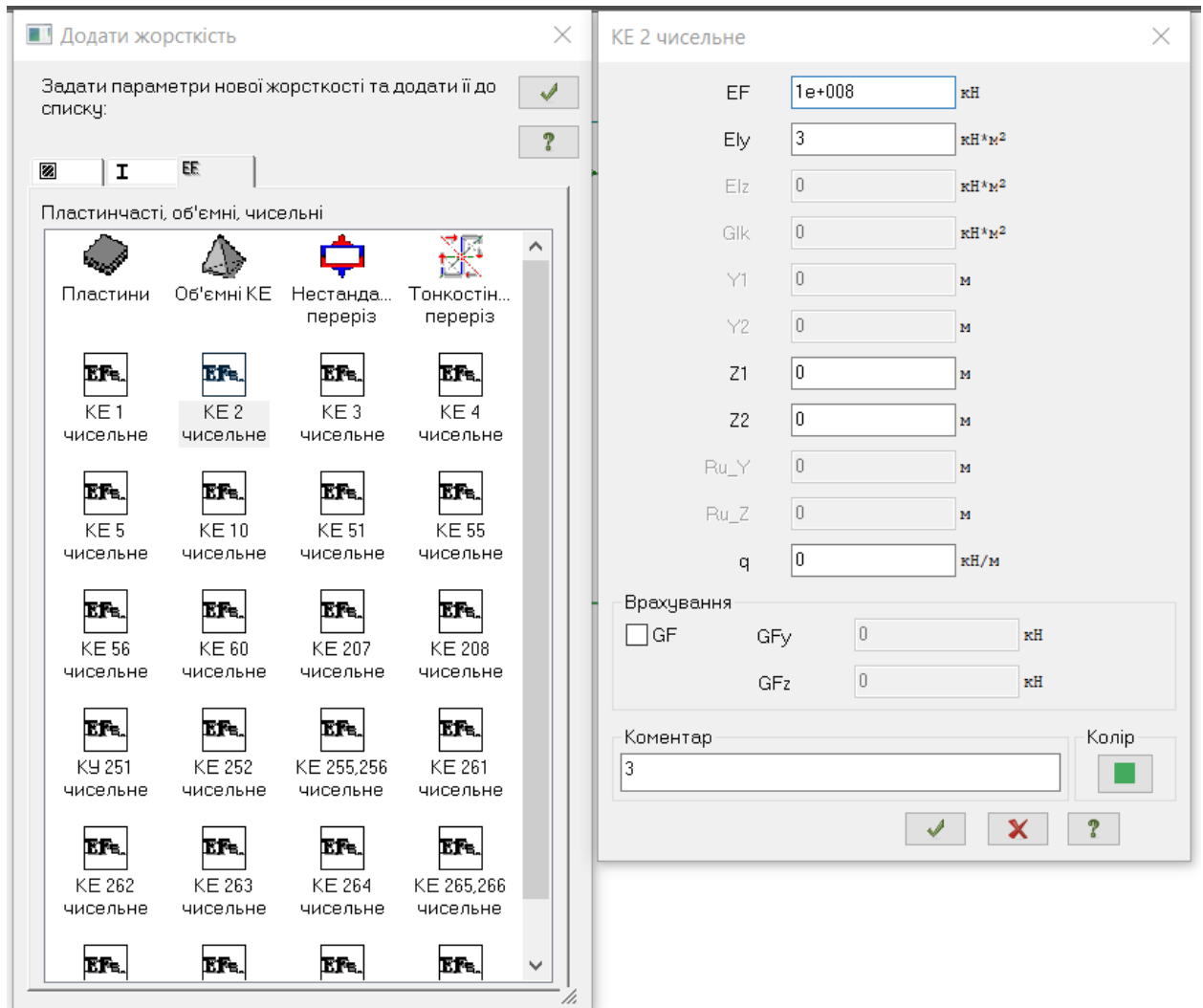
Виконайте розрахунок. За допомогою інструмента «Інформація про вузол або елемент» виділіть вузол F (за умовою) та перегляньте його кутове переміщення. Зверніть увагу, що значення кутових переміщень в програмі збільшено на коефіцієнт 1000. Додатні напрямки лінійних переміщень в програмі – вздовж відповідних осей, кутових – за годинниковою стрілкою навколо осі, якщо дивитися від початку координат. При аналітичному розрахунку, додатній напрям співпадає з напрямом одиничної сили.

Порівняйте результати розрахунку з наведеними в посібнику. Чому виникла похибка. Перегляньте, чому дорівнює вертикальне та горизонтальне переміщення вузла C (з умови) та подумайте, чому дорівнювали б такі переміщення при аналітичному розрахунку (при необхідності виконайте необхідні підрахунки в зошиті).

## 12. Створення нових типів жорсткості та розрахунок.

Для уточнення розрахунку, поверніться в режим створення та редагування, та змініть тип елемента на CE 2.

Додайте три нові жорсткості для СЕ 2 з каталогу чисельного опису:



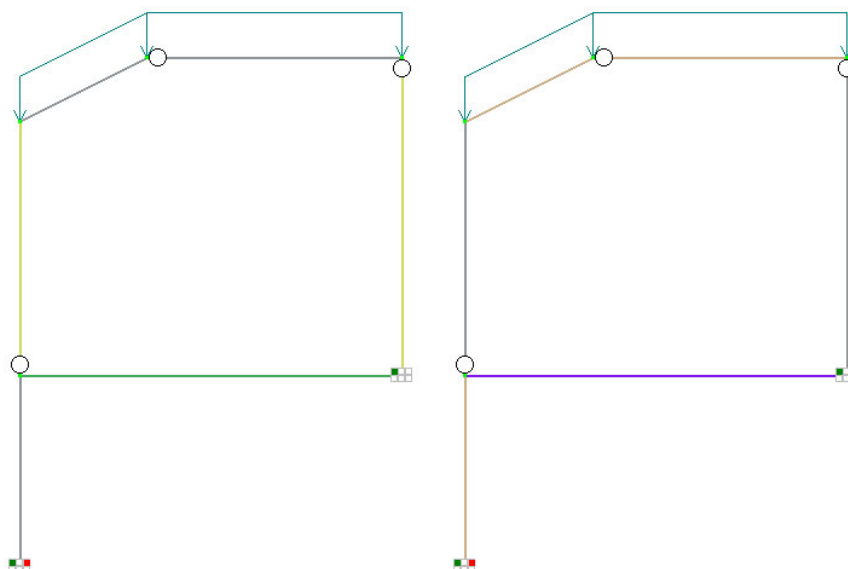
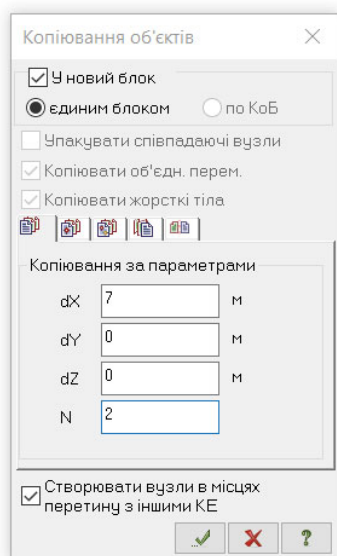
Жорсткість на згин  $Ely$  задайте відповідним числом, яке задає співвідношення жорсткості, жорсткість елемента на осьовий стиск (розтяг)  $EF$  задайте великим числом.

Присвойте жорсткості відповідним стержням.

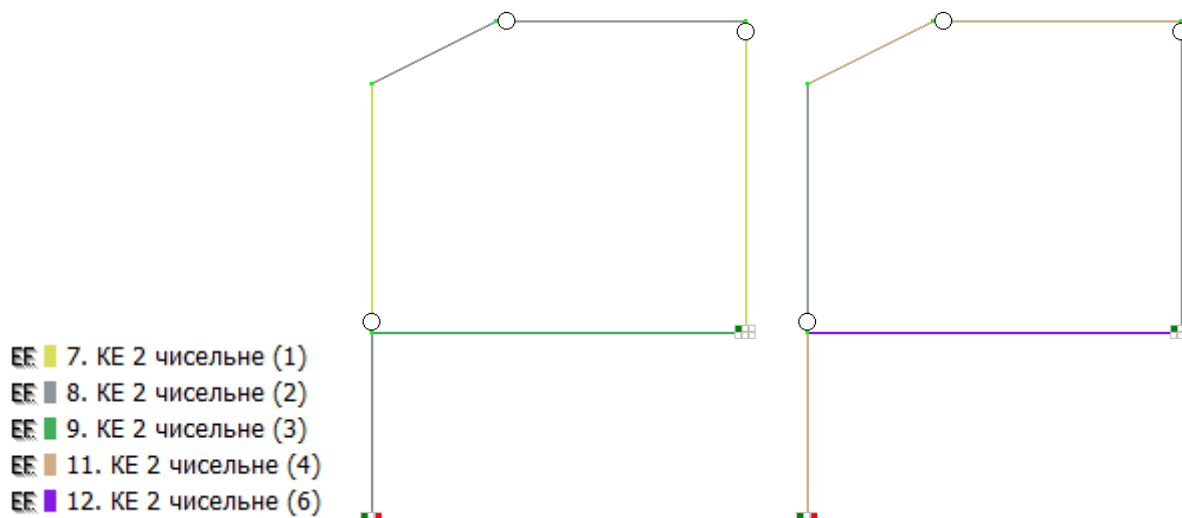
Виконайте розрахунок та порівняйте результати.

### 13. Аналіз вплив жорсткостей на переміщення.

Поверніться у режим створення та редагування. Створіть копію розрахункової схеми.



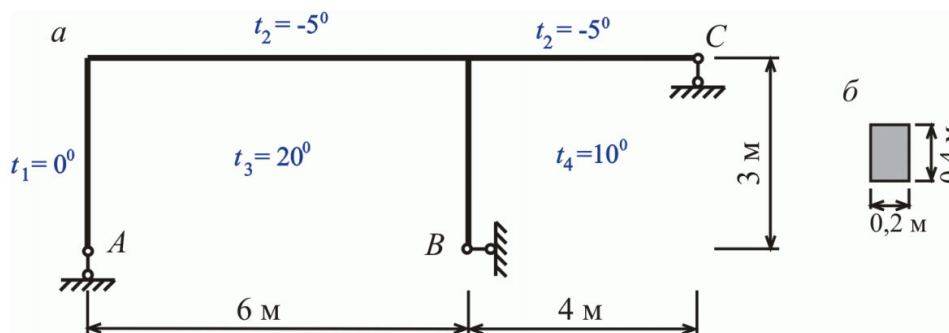
Збільшіть жорсткість стержнів вдвічі.



Виконайте розрахунок та порівняйте значення переміщень.

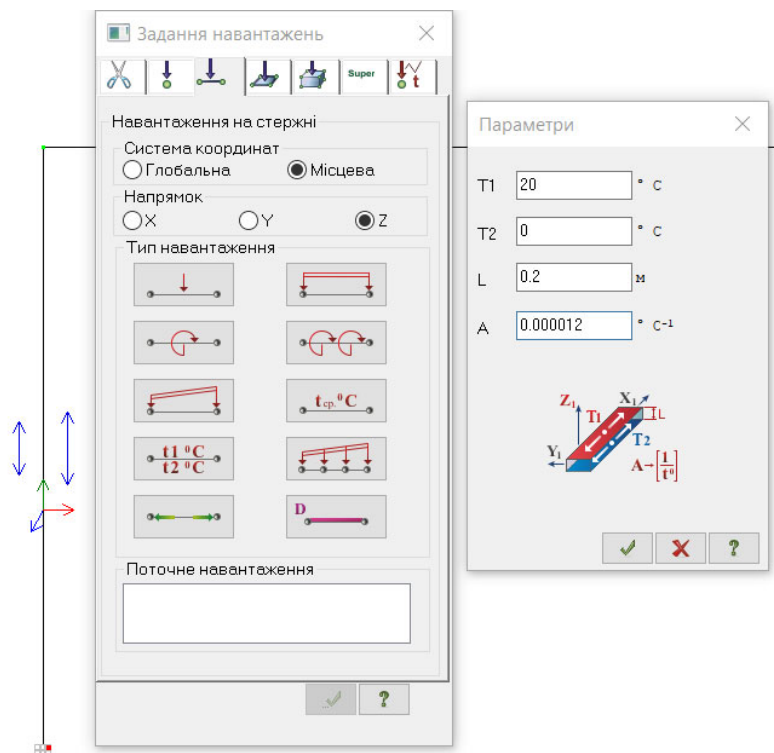
#### 14. Розрахунок переміщень від температурного впливу.

Задайте наступну розрахункову схему. Встановіть з'єднувальні пристрої та задайте довільну жорсткість.



Задайте дію температури на стержні за наступним алгоритмом:

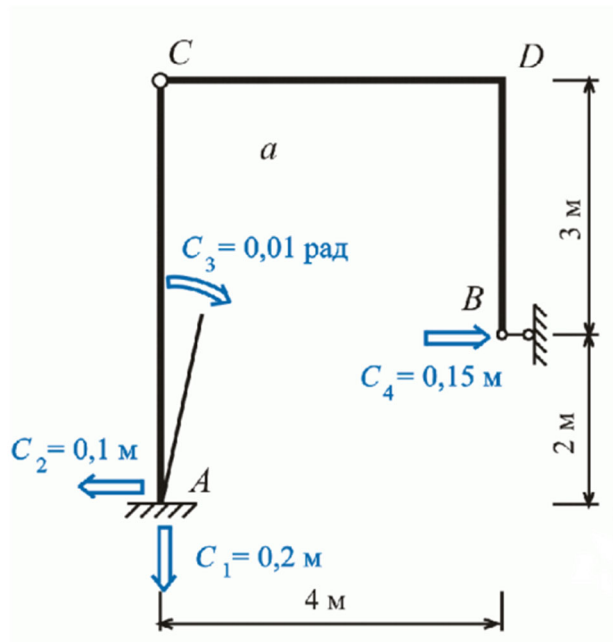
- Увімкніть місцеві осі стержнів.
- В діалоговому вікні «Навантаження на вузли та елементи» оберіть «Навантаження на стержні», поставте прапорці «Місцева система координат», вісь Z (вісь у площині задачі, перпендикулярно стержню), потім оберіть «Нерівномірний нагрів (стержні)».
- Для задання нерівномірного нагріву стержня в діалоговому вікні призначаються: температура у верхньому волокні – T1 (в напрямку місцевої осі), температура у нижньому волокні – T2 (в протилежному напрямку від місцевої осі), ширина перерізу стержня – L (0,2 м для вертикальних та 0,4 м для горизонтальних стержнів) і коефіцієнт температурного розширення матеріалу (за умовою  $A=1.2 \cdot 10^{-5}$ ).



Виконайте розрахунок та перегляньте значення горизонтального переміщення у вузлі С (за умовою). Порівняйте з результатом у посібнику.

## 15. Розрахунок переміщень від примусового зміщення опор.

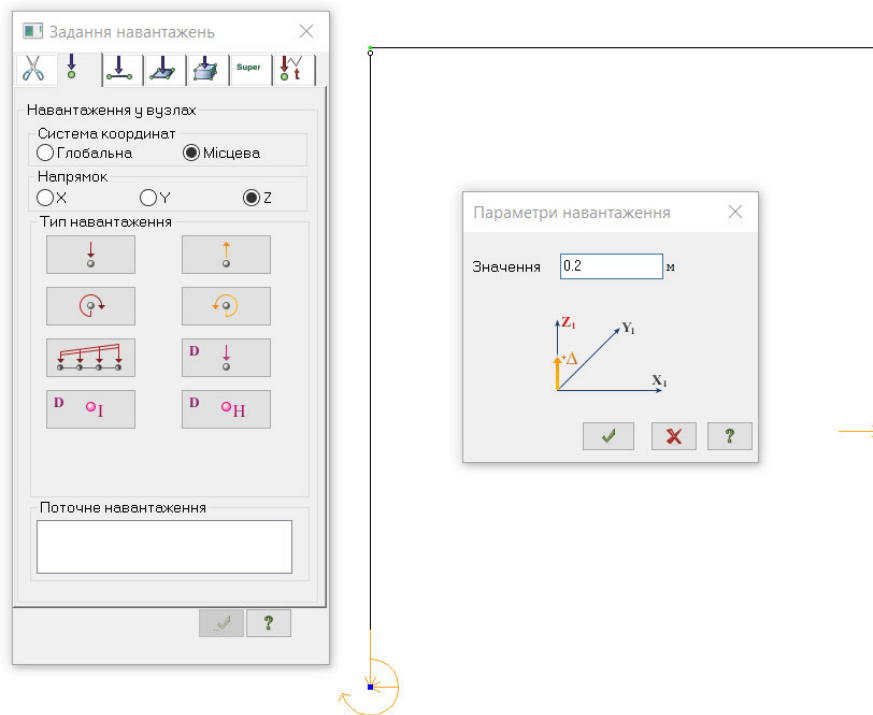
Задайте геометрію наступної задачі.



Встановіть з'єднувальні пристрої та задайте довільну жорсткість.

Примусове зміщення моделюватимемо наступним чином:

- В діалоговому вікні «Навантаження на вузли та елементи» оберіть «Навантаження на вузли».
- В залежності від виду примусового зміщення оберіть Задане зміщення або Заданий поворот.
- Під заданим зміщенням мається на увазі примусове переміщення або поворот якогось вузла по напрямку однієї зі степенів свободи (наприклад, осідання опорного вузла). При цьому в задачі може бути присутнім ще кілька звичайних завантажень, що не передбачають зміщення (осідання) цього вузла.
- При формуванні завантаження заданим зміщенням в необхідний вузол треба прикласти навантаження у вигляді заданого зміщення у напрямку цього зміщення.



Виконайте розрахунок та перегляньте значення вертикального переміщення у вузлі D (за умовою). Порівняйте з результатом у посібнику.

**В посібнику помилка.**

$$-(1,333 \cdot 0,1 - 0,1 \cdot 0,2 - 6,666 \cdot 0,01 + 1,333 \cdot 0,15) = 0,353 \text{ м}$$

Має бути:

$$-(1,333 \cdot 0,1 - 1 \cdot 0,2 - 6,666 \cdot 0,01 + 1,333 \cdot 0,15) = 0,0666 \text{ м}$$

### Лабораторна робота 3.

#### Розв'язання задачі про НДС просторових конструкцій.

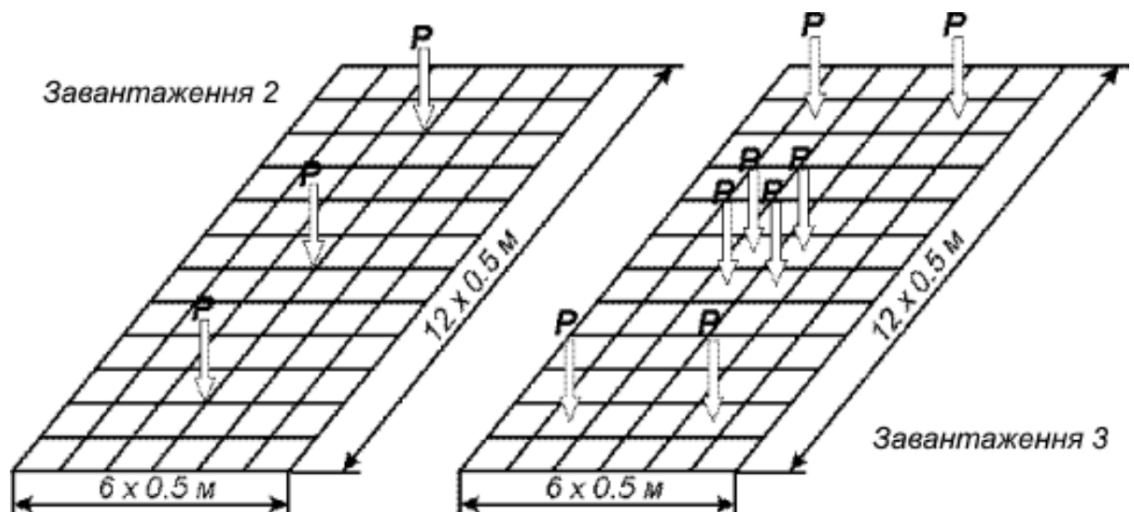
#### Розрахунок плити.

Змодельовати плиту розмірами 3 х 6 м, товщиною 150 мм. Дальня сторона плити вільно оперта по всій довжині, ближня – вільно оперта своїми кінцями на колони. Довгі сторони плити – вільні.

Розрахунок проводиться для сітки 6 х 12.

Навантаження:

- завантаження 1 – власна вага плити;
- завантаження 2 – зосереджені навантаження  $P = 1\text{т}$
- завантаження 3 – зосереджені навантаження  $P = 1\text{т}$



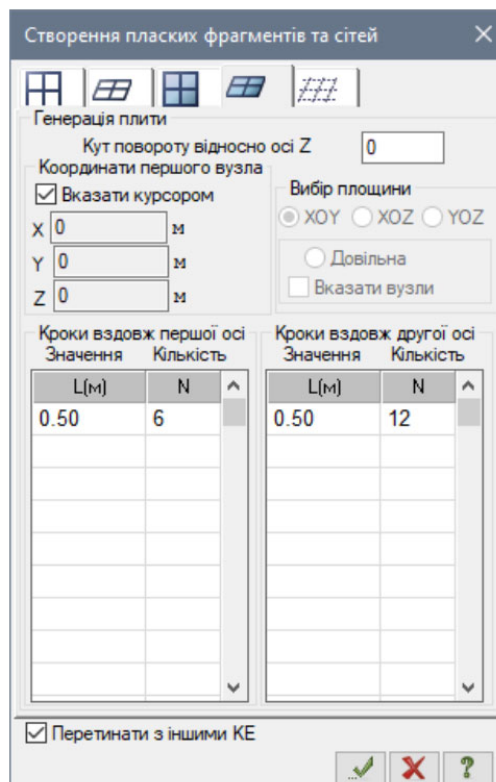
### 1. Створення нової задачі.

У діалоговому вікні «Опис схеми» задайте ознаку схеми – три степені вільності у вузлі (переміщення Z, U<sub>x</sub>, U<sub>y</sub>) X0Y.

Відкрийте діалогове вікно «Створення плоских фрагментів та сітей» на вкладці «Генерація плити», вибрав команду «Генерація плити» в розкритому списку «Генерація регулярних фрагментів та сітей» (панель «Створення» на вкладці «Створення та редагування»)

В таблиці діалогового вікна задайте крок скінченно-елементної сітки вздовж першої та другої осей:

Крок вздовж першої осі: L(m)=0,5 N=6. Крок вздовж другої осі: L(m)=0,5 N=12.



Відобразити нумерацію вузлів.

Оберіть вузли № 1, 7, 85 – 91 та за допомогою команди «В'язі» забороніть переміщення вузлів, яке моделює опирання за умовою.

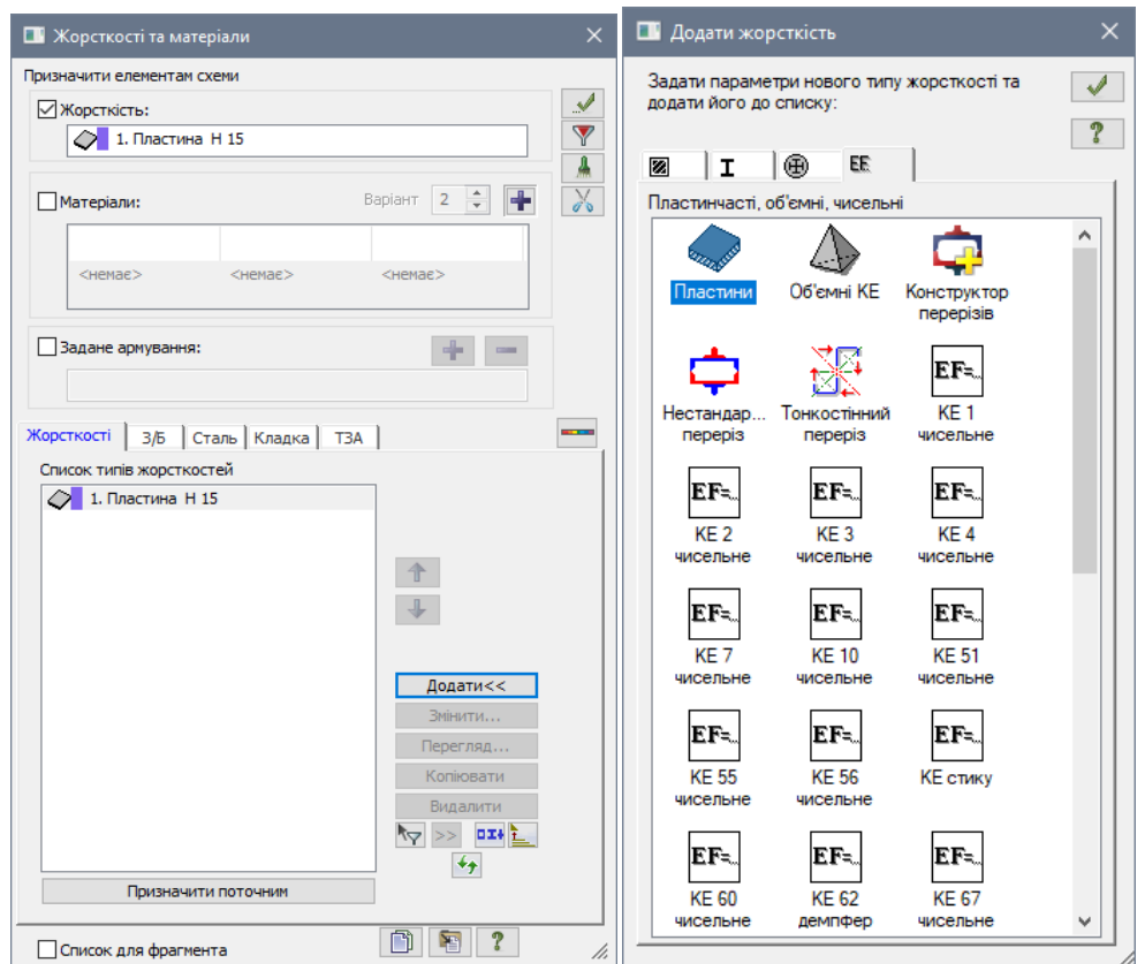
Здайте жорсткісні параметри плити:

модуль пружності –  $E = 3 \cdot 10^6$  т/м<sup>2</sup>;

коефіцієнт Пуассона –  $\nu = 0.2$ ;

товщина –  $H = 15$  см;

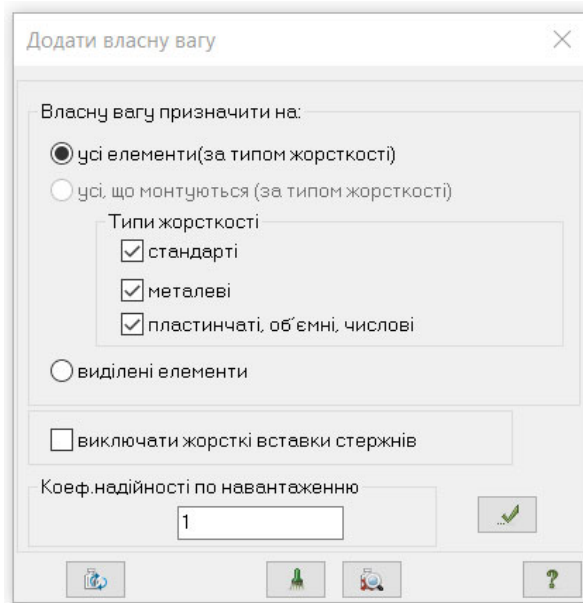
питома вага матеріалу –  $R_0 = 2.75$  т/м<sup>3</sup>.



## 2. Моделювання навантажень.

Для задання навантаження від власної ваги плити, натисканням на кнопку – «Додати власну вагу» (панель Навантаження на вкладці Створення та редагування) відкрийте діалогове вікно

В цьому вікні, при увімкненій радіо-кнопці усі і заданому коеф. надійності за навантаженням рівному 1, натисніть на кнопку – Застосувати (у відповідності з заданою об'ємною вагою  $R_0$  елементи автоматично завантажуються навантаженням від власної ваги).



Змініть номер поточного завантаження натисканням на кнопку «Наступне завантаження» в рядку стану (знаходиться в нижній області робочого вікна).

Натисніть на кнопку «Поліфільтр» та в полі «За номерами вузлів» введіть вузли № 18, 46 и 74.

Відкрийте вікно «Задання навантажень» на закладці «Навантаження у вузлах» оберіть команду «Навантаження на вузли» (Глобальна система координат, напрям – вздовж осі Z). Натиснувши на кнопку зосередженої сили відкрийте діалогове вікно «Параметри навантаження», введіть значення P.

Змініть номер поточного завантаження натисканням на кнопку «Наступне завантаження» в рядку стану.

За допомогою поліфільтра оберіть елементи 14, 23, 30, 31, 42, 43, 50, 59.

Задайте навантаження на пластини (глобальна СК, напрям – вздовж осі Z). У вигляді зосередженої сили (на пластини).

Для призначення навантаження, що прикладається в одній точці, необхідно в діалоговому вікні задати величину сили (P), прив'язку її до першої сторони пластини (відстань A від першої сторони – 0.25 м) і прив'язку її до другої сторони пластини (відстань B від другої сторони – 0.25 м).

### 3. Розрахунок та аналіз результатів.

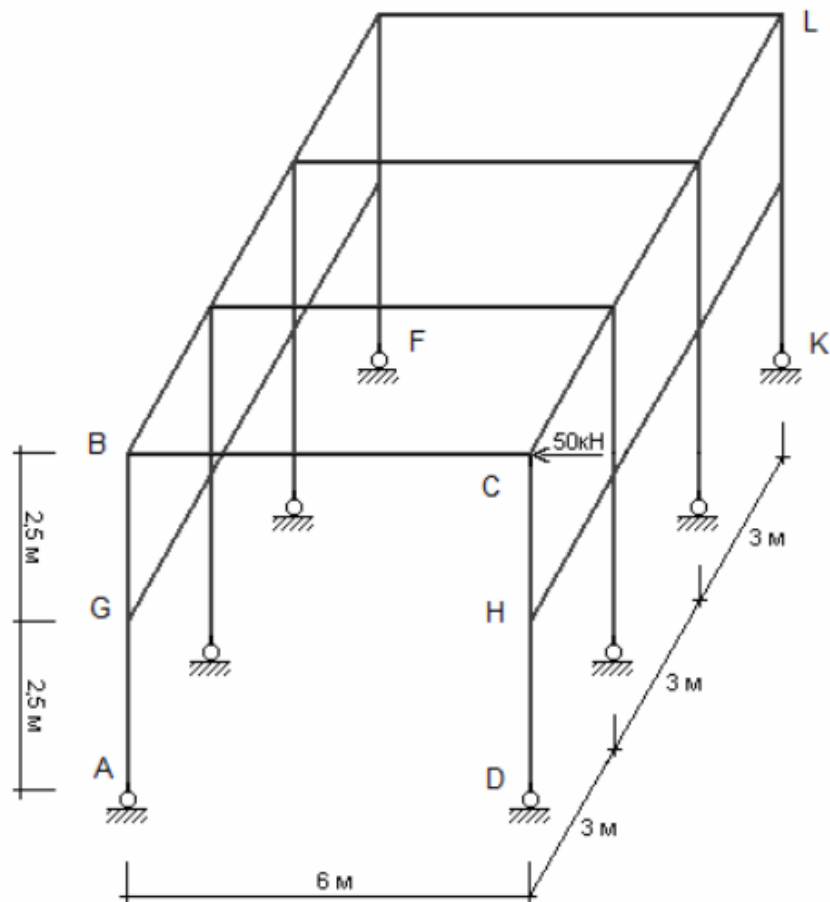
Виконайте розрахунок та проаналізуйте зусилля у пластинах та переміщення вузлів.

Сформууйте та перегляньте таблицю результатів розрахунку.

## Розрахунок просторової стержневої системи.

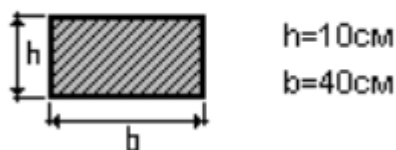
### 4. Створення нової задачі.

Необхідно змодельовати просторовий каркас:



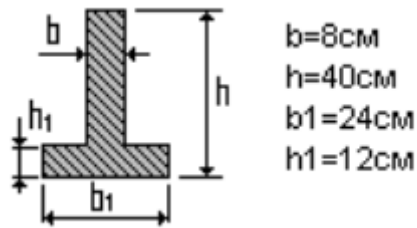
При формуванні вхідних параметрів моделі споруди треба врахувати такі особливості:

- конфігурація рами має вертикальну площину симетрії, яка проходить по середині поперечника рами;
- вертикальні елементи (стояки) мають однаковий прямокутний переріз з відповідними геометричними розмірами та орієнтацією місцевих координатних осей  $X_1, Y_1, Z_1$ ;



- горизонтальні елементи (ригелі) мають однаковий тавровий переріз з відповідними геометричними розмірами, але різне

розташування полки тавра (в нижніх ригелях полка тавра розташована знизу, а в верхніх ригелях – зверху);



- модуль пружності елементів –  $E = 3.6e+006 \text{ т/м}^2$ ); коеф. Пуассона –  $\nu = 0.2$ .
- всі стояки рами закріплюються до опорної горизонтальної поверхні нерухомими шарнірами;
- в усіх проміжних вузлах елементи рами жорстко з'єднуються між собою;
- зовнішнє навантаження рами задане у вигляді однієї горизонтальної (паралельно осі  $X$ ) вузлової зосередженої сили.

У діалоговому вікні «Опис схеми» задайте ознаку схеми 5 – шість степенів вільності у вузлі.

## 5. Задання геометрії каркасу.

За допомогою вікна «Генерація просторових рам» генеруємо просторовий каркас.

Діалогове вікно для створення фрагментів просторових рам містить таблицю для введення значень та кількості кроків уздовж осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  глобальної системи координат, а також поля введення координат прив'язки в просторі першого вузла просторової рами і кута повороту її навколо осі  $Z$ .

Якщо стержні, що з'єднують вузли просторової рами, складаються з декількох ділянок (мають проміжні вузли), то в полях введення Крок розбивки задаються необхідні числа.

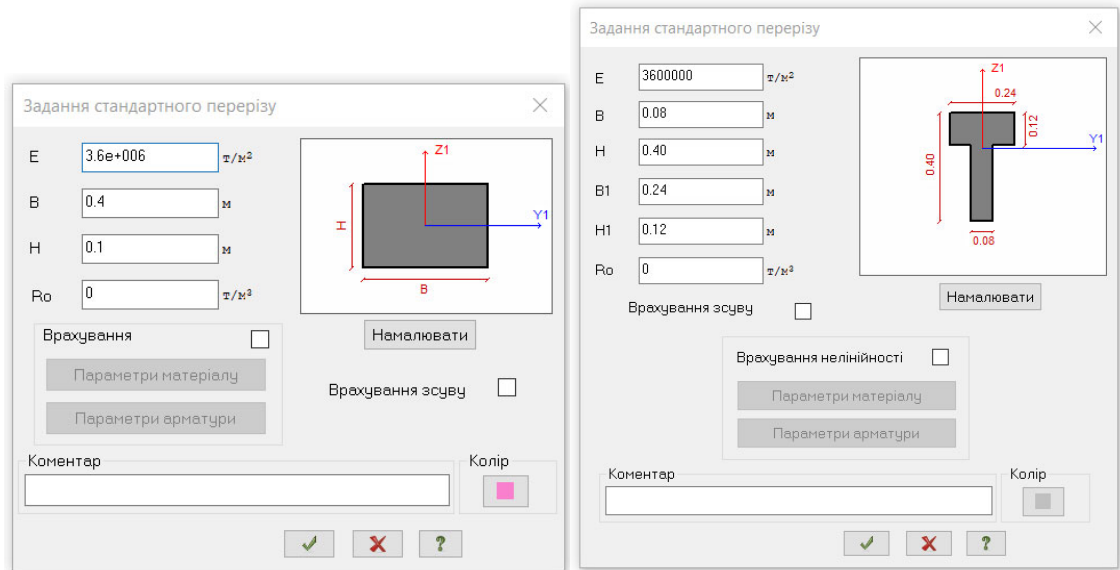
Якщо при цьому встановлено прапорець «Створювати елементи пластин», то відбувається автоматичне формування плит перекриття з урахуванням наявних вузлів.

При встановленому прапорці «Вказати курсором» створюваний фрагмент буде прив'язаний до вузла, вказаного курсором на вже створеному фрагменті схеми.

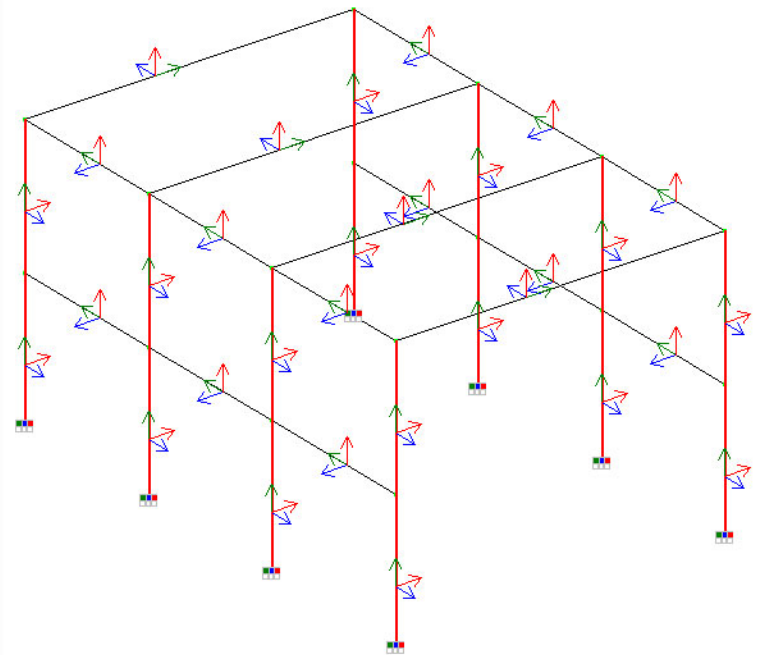
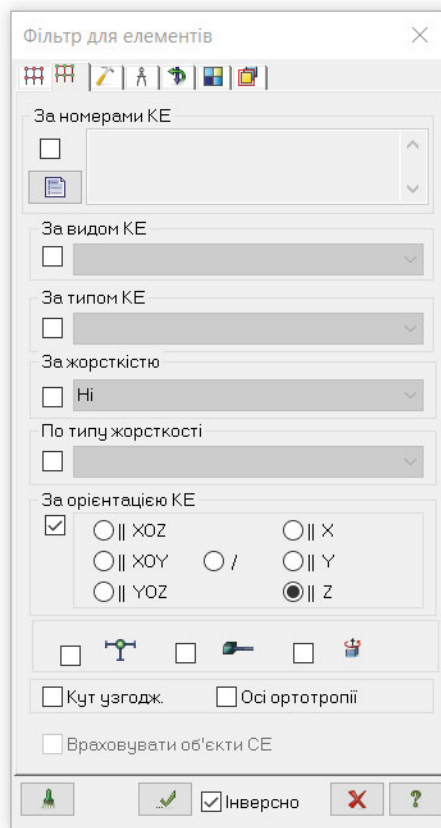
Встановлений прапорець Накладати закріплення дозволяє автоматично ввести в'язі на вузли з найменшою аплікатою.



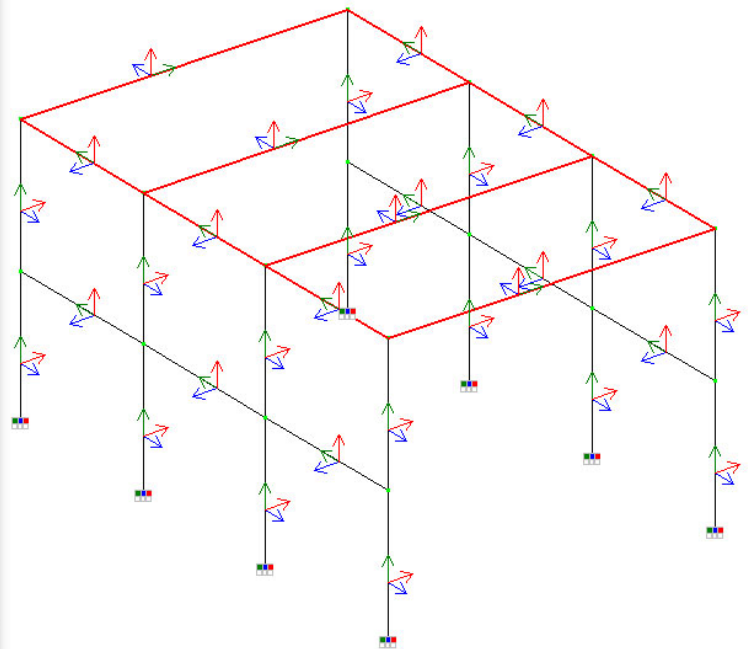
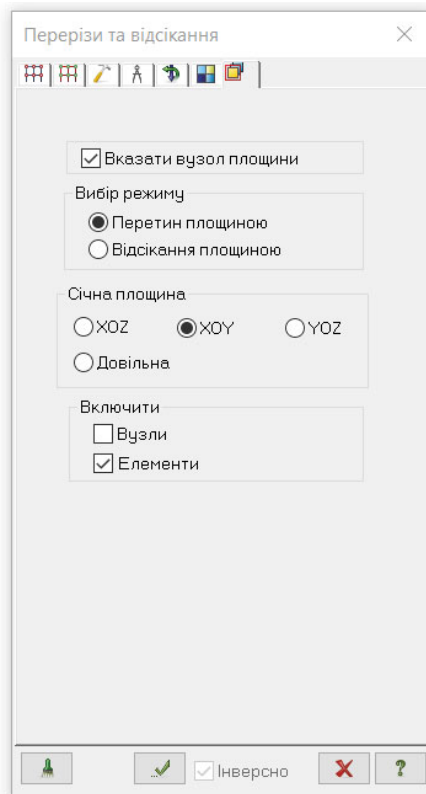
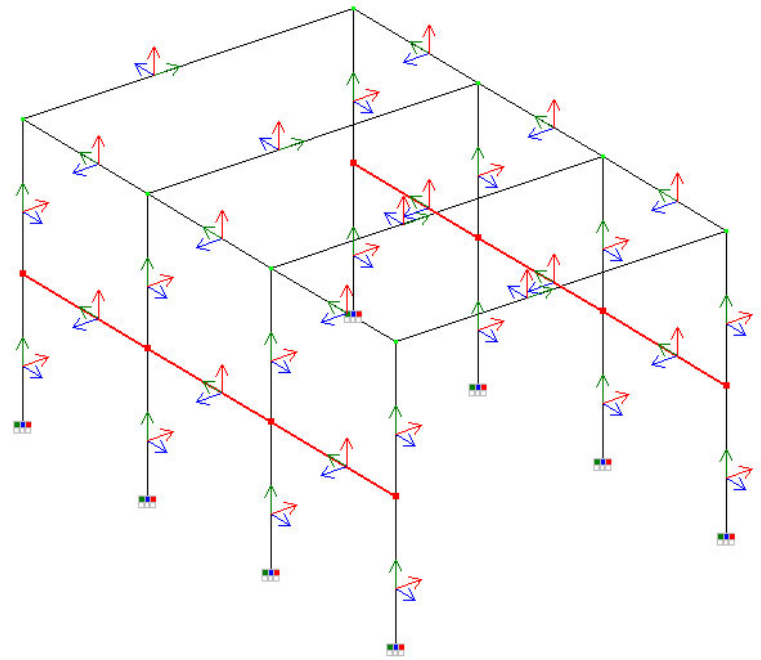
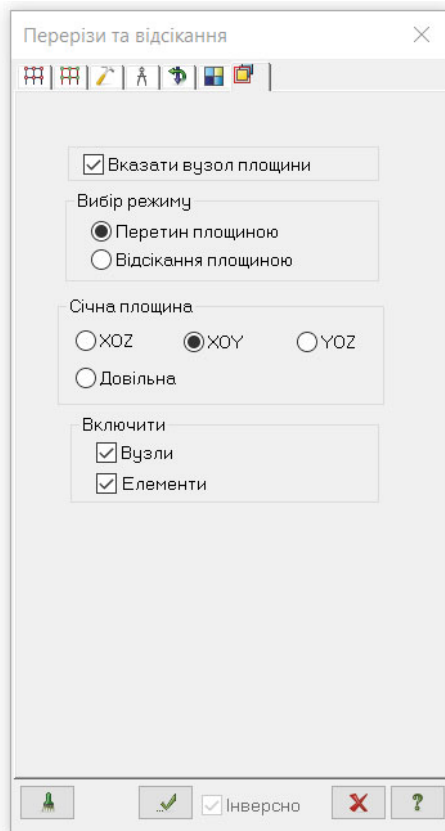
Створіть 3 типи жорсткості стержневих елементів.



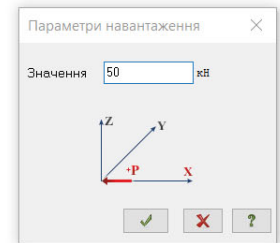
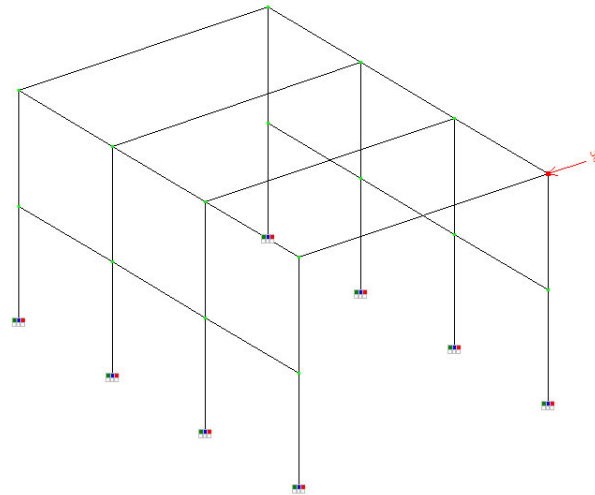
Обирати необхідні елементи зручно використовуючи «Поліфільтр», фільтруючи елементи з умови їх паралельності до глобальних осей.



А також використовуючи перетин площиною:

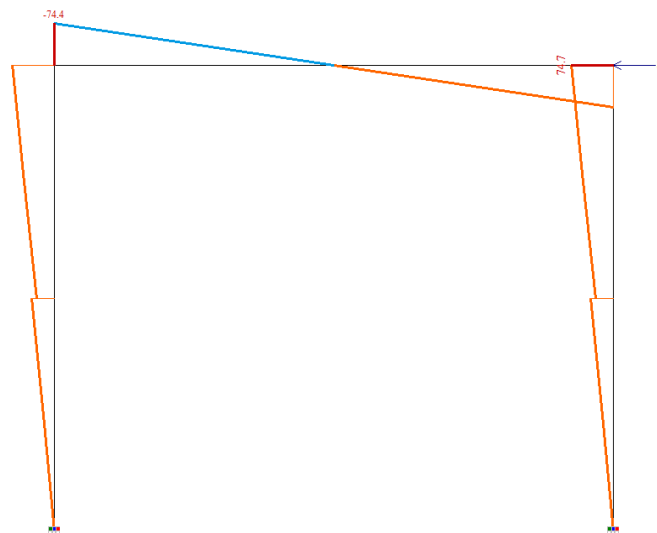


**7. Задання навантажень на розрахункову схему.**  
Задайте зосереджену силу 50 кН у вузлі рами.



## 8. Розрахунок та аналіз результатів.

Виконайте розрахунок. Проаналізуйте отримані результати.

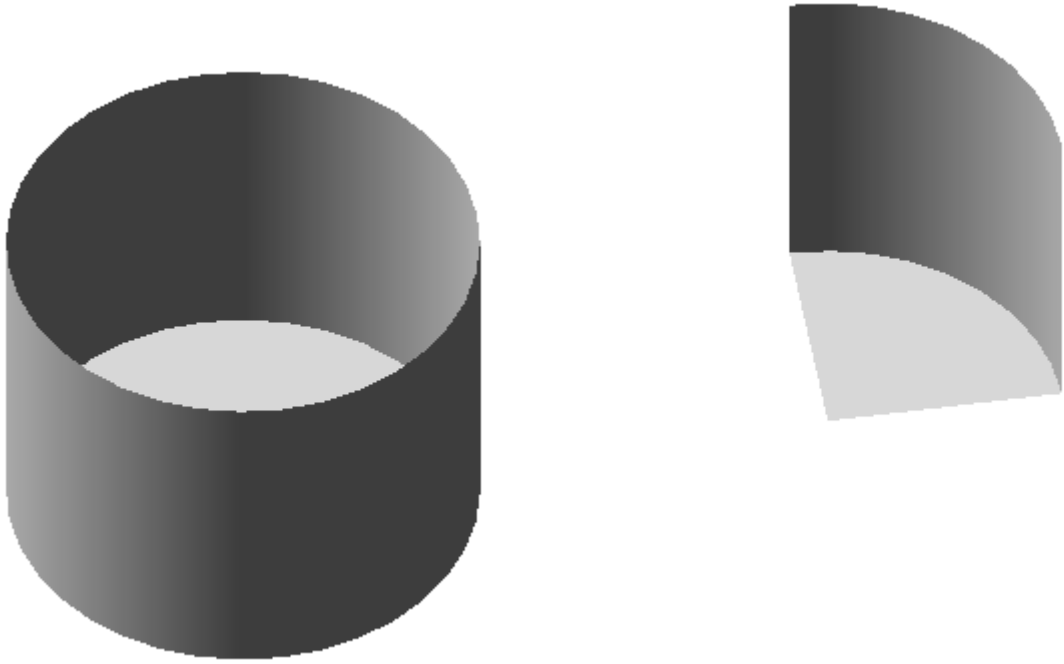


### Лабораторна робота 4.

#### Розв'язання задачі про НДС просторової конструкції.

#### Розрахунок циліндричного резервуару.

Виконаємо моделювання циліндричного резервуару наповненого рідиною. Виконаємо розрахунок двох моделей. Перша – моделювання всього резервуару, друга – використаємо умову симетрії.



### 1. Створення нової задачі.

У діалоговому вікні «Опис схеми» задайте ознаку схеми 5 – шість степенів вільності у вузлі.

Відкрийте діалогове вікно «Поверхні обертання» (панель Створення на вкладці Створення та редагування).

В цьому діалоговому вікні задайте параметри, які необхідні для генерації циліндру:

радіус циліндру –  $R = 2$  м;

висота циліндру –  $H = 3$  м;

розбивка стінки резервуара на кінцеві елементи по вертикалі -  $n1 = 20$ , по колу –  $n2 = 36$ ;

кут сектора  $\varphi_i = 360^\circ$ .

В діалоговому вікні «Поверхні обертання» перейдіть на другу закладку генерації конуса і задайте наступні параметри:

верхній радіус конуса –  $r = 0$  м;

нижній радіус конуса –  $R = 2$  м;

висота конуса –  $H = 0$  м;

розбивка дна резервуара на кінцеві елементи –  $n1 = 10$ ,  $n2 = 36$ ;

кут сектора  $\varphi_i = 360^\circ$ .

Створимо частину резервуара, для виконання розрахунку з використанням симетрії.

Відкрийте діалогове вікно «Поверхні обертання» (панель Створення на вкладці Створення та редагування).

В цьому діалоговому вікні задайте параметри, які необхідні для генерації циліндру:

радіус циліндру –  $R = 2$  м;

висота циліндру –  $H = 3$  м;

розбивка стінки резервуара на кінцеві елементи по вертикалі -  $n1 = 20$ , по колу –  $n2 = 9$ ;

кут сектора  $f_i = 90^\circ$ ;

координата базового вузла –  $5;0;0$ .

В діалоговому вікні «Поверхні обертання» перейдіть на другу закладку генерації конуса і задайте наступні параметри:

верхній радіус конуса –  $r = 0$  м;

нижній радіус конуса –  $R = 2$  м;

висота конуса –  $H = 0$  м;

розбивка дна резервуара на кінцеві елементи –  $n1 = 10$ ,  $n2 = 9$ ;

кут сектора  $f_i = 90^\circ$ ;

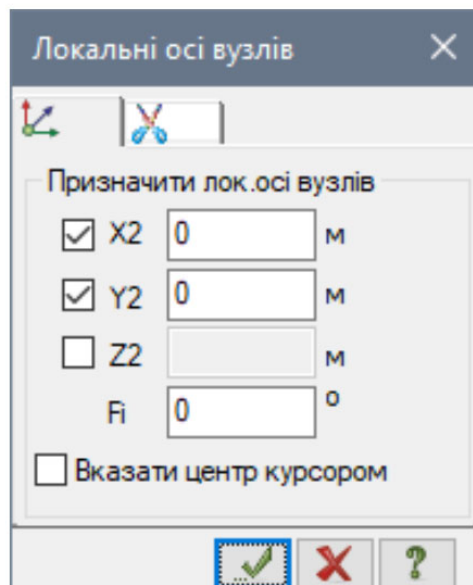
координата базового вузла –  $5;0;0$ .

Виконайте упаковку схеми (для зшивання співпадаючих вузлів та елементів).

## 2. Призначення локальної системи координат для вузлів.

Виділіть всі вузли розрахункової схем всього резервуару, крім центрального вузла дна резервуару.

На панелі «Редагування вузлів» на контекстній вкладці «Вузли» відкрийте діалогове вікно Локальні осі вузлів. В цьому вікні зніміть прапорець з координати Z2 (таким чином, ми задаємо координату точки, від якої будуть йти місцеві осі X. Так як координата Z перемінна по висоті, ми знімаємо відповідний прапорець).



Виділіть всі вузли розрахункової схеми частини резервуару, крім центрального вузла дна резервуару.

На панелі «Редагування вузлів» на контекстній вкладці «Вузли» відкрийте діалогове вікно Локальні осі вузлів. В цьому вікні зніміть прапорець з координати Z2, активуйте прапорець «Вказати центр курсором» та вкажіть центральний вузол дна резервуару.

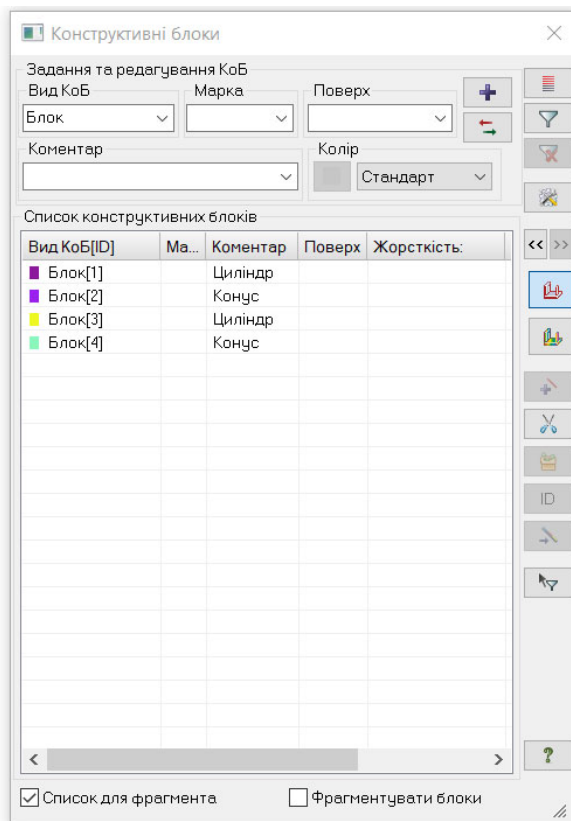
### 3. Призначення жорсткостей елементам.

В діалоговому вікні Задання жорсткості для пластин задайте параметри перерізу Пластини (для дна):

- модуль пружності –  $E = 3e6 \text{ т/м}^2$ ;
- коеф. Пуассона –  $\nu = 0.2$ ;
- товщина –  $H = 20 \text{ см}$ ;
- питома вага матеріалу –  $R_0 = 2.75 \text{ т/м}^3$

Скопіюйте, у новоствореному параметрі жорсткості змініть товщину на  $H = 15 \text{ см}$ . Це будуть параметри жорсткості для стінок.

Задайте жорсткості відповідним елементам. Для зручності виділення необхідних СЕ можна використовувати вікно «Конструктивні блоки» («Блоки» на панелі Конструювання).



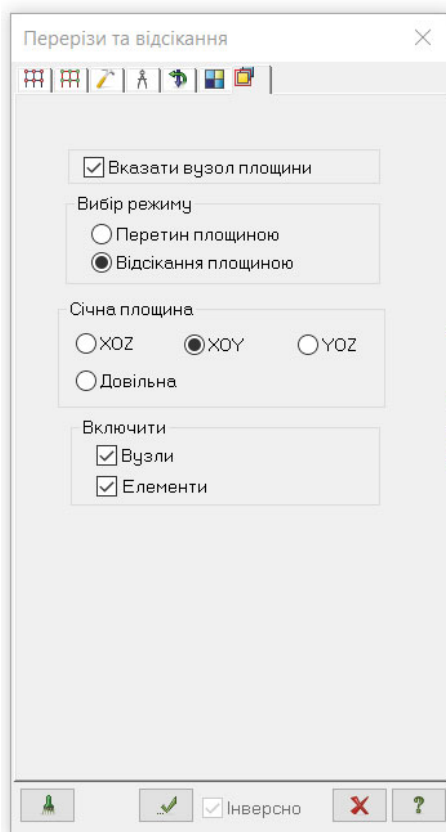
### 4. Моделювання умов обпирання резервуару.

Задамо граничні умови обпирання обох схем.

Виділіть вузли стику дна зі стінкою. Для зручності застосуємо Поліфільтр. Перейдіть на режим «Перерізи та відсікання».

Перерізи та/або відсікання площиною може здійснюватися за вибором січної площини - XOZ, XOY, YOZ та довільної. При установці відповідних прапорців з'являється можливість включити в зону перерізу або відсікання вузли та/або елементи.

Вкажіть довільний вузол дна одного з резервуарів та оберіть площину XOY.



Після застосування будуть виділені всі вузли та елементи дна обох моделей.

Застосуйте функцію «Інверсія вибору» (скасування зробленої раніше відмітки вузлів та елементів і навпаки, відмітка не відмічених раніше вузлів та елементів). Виділеними стануть SE стінок.

Застосуйте функцію «Фрагментація» (відображення на екрані тільки заздалегідь відмічених вузлів і елементів схеми). Замість сукупності цієї і попередньої дії, можна було застосувати функцію «Інверсна фрагментація».

Представте розрахункові схеми у проекції на площину XOZ (вид спереду).

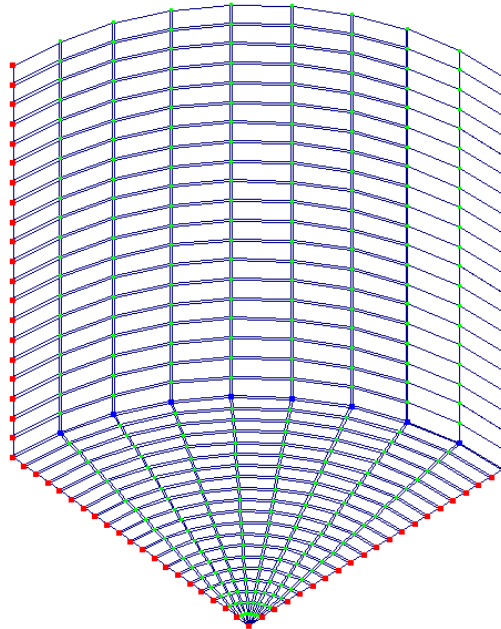
Виділіть всі нижні вузли, та встановіть в'язі у вузлах заборноюю переміщень по Z.

Для відновлення розрахункової схеми конструкції в початковому вигляді після операції «Фрагментація» натисніть «Відновлення конструкції».

## 5. Додавання в'язей симетрії для фрагмента резервуару.

Для коректного розрахунку фрагменту резервуару необхідно задати в'язі симетрії. Без них модель буде розрахована як самостійна конструкція, а не фрагмент.

Виділіть вузли, по яким було умовно вирізано фрагмент.



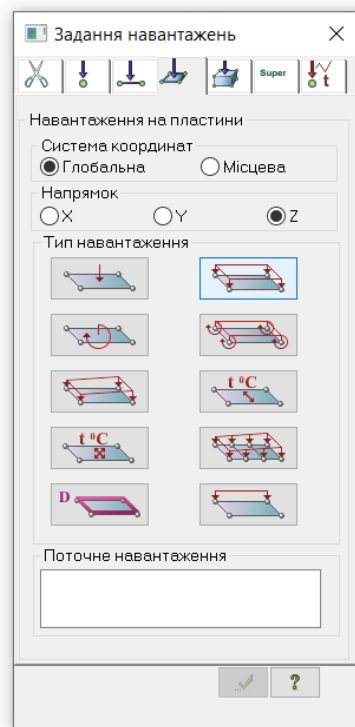
Відмітьте напрями, по яким заборонені переміщення вузлів: Y, UX и UZ (ці напрямки відповідають в'язям симетрії на площині відсікання).

## 6. Задання навантажень.

Задамо навантаження рідини на дно моделей резервуарів.

Відкрийте діалогове вікно «Задання навантажень» на закладці «Навантаження на пластини», обрав команду «Навантаження на пластини» в розкритому списку «Навантаження на вузли та елементи» (панель «Навантаження» на вкладці «Створення та редагування»).

В цьому вікні вкажіть система координат – Глобальна, напрям – вздовж осі Z.



Задайте інтенсивність навантаження  $p = 3 \text{ т/м}^2$

Виділіть елементи дна (зручно використати Блоки) та задайте навантаження.

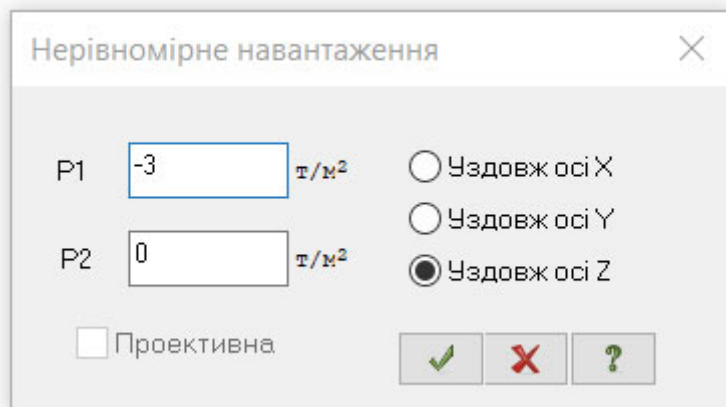
Задамо навантаження рідини на стінки моделей резервуарів.

Виділіть елементи стінки шляхом вказування курсором в будь-який елемент стінки резервуара при увімкненій функції відмітки блока.

В діалоговому вікні «Задання навантажень» натисканням по радіо-кнопці задайте систему координат – Місцева.

Натисканням по кнопці трапецієвидного навантаження на групу пластин відкрийте діалогове вікно «Нерівномірне навантаження».

В цьому вікні задайте інтенсивність навантаження  $p_1 = -3 \text{ т/м}^2$  і увімкніть радіо-кнопку Уздовж осі Z



Виконайте розрахунок. Порівняйте результати обох розрахункових моделей.

