

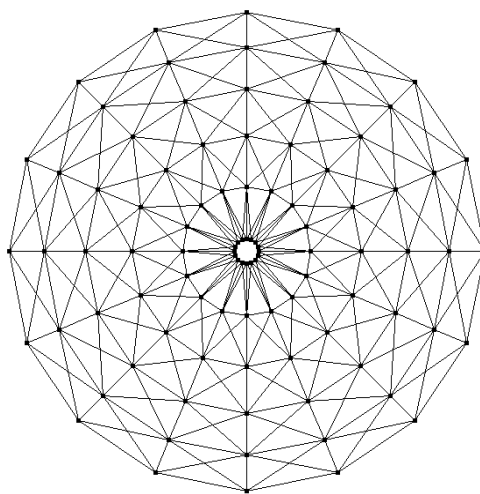
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА

КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОГО І ЦИВІЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА

С. ЗАВАЦЬКИЙ  
М. КОРЗАЧЕНКО

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
КОНСТРУКЦІЙ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ  
**Structure CAD Office**

Навчально-методичний посібник  
до виконання розрахунково-графічних робіт по курсах:  
«Будівельна механіка», «Металеві конструкції»,  
«Залізобетонні конструкції» та «Конструкції з деревини»



Чернігів – 2017

УДК 004:69 (075.8)  
ББК 38.5я73  
З 13

Рекомендовано до друку вченою радою Чернігівського національного  
технологічного університету  
(протокол №10 від 30 жовтня 2017 р.)

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Іванченко Г.М.  
кандидат технічних наук, доцент І.О. Прибитько  
голова Чернігівської обласної організації  
національної спілки архітекторів України В.А. Травка

Завацький С.В., Корзаченко М.М.

**З 13 Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану конструкцій в програмному комплексі Structure Cad Office:** Навчально-методичний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт по курсам: «Будівельна механіка», «Металеві конструкції», «Залізобетонні конструкції» та «Конструкції з деревини» / Завацький С.В., Корзаченко М.М. – Чернігів ЧНТУ 2017. – 184 с.

У навчально-методичному посібнику розглядається застосування автоматизованого програмного комплексу Structure CAD Office для аналізу напружено-деформованого стану будівельних конструкцій. Представлено всі аспекти підготовки даних в режимі графічного діалогу, розрахунку, аналізу і документування результатів. Наведено приклади міцнісного розрахунку стержневих систем, металевих та залізобетонних конструкцій, а також конструкцій виконаних з деревини, що можуть стати у пригоді для виконання розрахунково-графічних робіт з відповідних навчальних курсів.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Відповідальний за випуск:

доц.. Завацький С.В.

УДК 004:69 (075.8)  
ББК 38.5я73  
© Завацький С.В., Корзаченко М.М., 2017

## ЗМІСТ

|  |     |
|--|-----|
| ВСТУП.....   | 4   |
| Частина I. ПРОЕКТНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС STRUCTURE CAD OFFICE ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....             | 5   |
| 1. Структура та елементи керування режимом графічного діалогу, розрахунку, аналізу і документування результатів системи Scad Office..... | 5   |
| 1.1. Загальне ознайомлення з проектно-обчислювальним комплексом SCAD.....  | 5   |
| 1.2. Створення розрахункових схем стержневих конструкцій.....  | 17  |
| 1.3. Розрахункові схеми конструкцій із пластинчастих елементів.....  | 23  |
| 1.4. Поверхні обертання.....   | 27  |
| 1.5. Формування поверхонь обертання, заданих аналітично.....   | 30  |
| 1.6. Формування поверхонь, заданих аналітично.....   | 32  |
| 1.7. Збирання схеми з декількох схем.....  | 33  |
| 1.8. Копіювання розрахункової схеми.....   | 37  |
| 1.9. Геометричні перетворення.....   | 38  |
| 1.10. Задавання сітки координатних осей.....   | 40  |
| 1.11. Введення схеми на сітці координатних осей.....   | 42  |
| 1.12. Формування розрахункових схем з об'ємних елементів.....  | 43  |
| 1.13. Операції з вузлами і елементами.....   | 44  |
| 1.14. Задавання характеристик вузлів і елементів.....  | 58  |
| 1.15. Задавання схем навантажень.....  | 70  |
| Частина II. ПРИКЛАДИ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ ТА НАЙПОШИРЕНІШИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ SCAD..... | 78  |
| 2. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану стержневих систем.....   | 78  |
| 2.1. Плоскі стержневі системи.....   | 78  |
| 2.2. Просторові стержневі системи.....   | 88  |
| 3. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану елементів залізобетонних конструкцій.....  | 98  |
| 3.1 Ферми безрозкісні.....   | 98  |
| 3.2. Балки двоскатні решітчасті.....   | 109 |
| 4. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану металевих конструкцій.....   | 116 |
| 4.1. Балки зварні двотаврові.....  | 116 |
| 4.2. Ферма двоскатна.....  | 125 |
| 4.3. Металеві структурні конструкції.....  | 134 |
| 5. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану конструкцій з деревини.....  | 144 |
| 5.1. Арки стрілочасті.....   | 144 |
| 5.2. Купол ребристо-кільцевий.....   | 153 |
| Частина III. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ З НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ.....                                  | 164 |
| 6. Склад і оформлення розрахунково-графічних робіт в програмному комплексі SCAD.....   | 164 |
| 7. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Будівельна механіка».....   | 166 |
| РГР №1. Розрахунок статично невизначуваної плоскої рами.....   | 166 |
| РГР №2. Розрахунок просторової рами.....   | 168 |
| 8. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Залізобетонні конструкції».....   | 169 |
| РГР №3 Розрахунок на міцність безрозкісної ферми.....  | 169 |
| РГР №4. Розрахунок на міцність балки двоскатної решітчастої.....   | 171 |
| 9. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Металеві конструкції».....  | 173 |
| РГР №5. Розрахунок на міцність металевої зварної двотаврової балки.....  | 173 |
| РГР №6. Розрахунок на міцність ферми двоскатної.....   | 175 |
| РГР №7. Розрахунок на міцність металевої структурної конструкції.....  | 177 |
| 10. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Конструкції з деревини».....   | 179 |
| РГР №8. Розрахунок на міцність арки стрілочастої.....  | 179 |
| РГР №9. Розрахунок на міцність елементів купола ребристо-кільцевого.....   | 181 |
| РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....  | 183 |

## ВСТУП

В сучасних умовах інтенсифікації будівельного виробництва інженер-проектувальник повинен досконало володіти прогресивними методами проектування, у тому числі знати і вміти використовувати у своїй практичній діяльності сучасні інформаційні технології, оскільки програмне забезпечення різного призначення, бази даних, засоби обчислювальної техніки сьогодні використовуються на всіх етапах життєвого циклу будинків і споруд — від архітектурного рішення й проектування до експлуатації готового об'єкта.

Навчити майбутнього фахівця користуватися сучасними програмними розробками, які широко використовуються у проектній практиці є дуже важливою частиною професійної підготовки.

Даний навчально-методичний посібник складений з метою набуття майбутніми фахівцями з будівництва та цивільної інженерії в процесі навчання та самостійної роботи компетенцій активного використання проектно-аналітичної програми SCAD Office. За допомогою цього програмного комплексу можна виконувати розрахунки на міцність відповідальних споруд, а також проводити перевірочні і розрахункові процедури при проектуванні елементів будівельних конструкцій.

Систему SCAD Office вибрано для вивчення тому, що програмні компоненти в її складі охоплюють майже весь спектр програмних засобів, що використовуються у проектуванні конструкцій. Крім того, розробниками SCAD Office [1] забезпечено змістовий зв'язок із базовим програмним забезпеченням різного призначення, включаючи AutoCAD, архітектурні системи та системи проектування металевих конструкцій.

Поданий у навчально-методичному посібнику матеріал поділяється на три частини.

В першій частині основна увага приділяється засвоєнню базової інформації про структуру та елементи керування різними режимами роботи системи SCAD Office. З метою засвоєння принципів керування програмним комплексом наведено приклад синтезу розрахункової схеми з виконанням розрахунків і аналізом отриманих результатів та подальшим їх документуванням. Докладно представлено алгоритми створення розрахункових схем різного виду конструкцій, реалізованих як параметричні прототипи, розглянуто можливості їх модифікації та зборки складних розрахункових схем з декількох фрагментів. Розглянуто послідовність виконання операцій з вузлами й елементами розрахункових схем щодо коригування їхньої геометрії, задавання відповідних вузлових в'язей та призначення міцнісних характеристик елементам, з яких складається розрахункова схема. Розглянуто загальний порядок задавання схем завантажень для статичного розрахунку конструкцій.

В другій частині посібника наведено приклади розрахунків на міцність плоских і просторових стержневих систем, елементів типових залізобетонних та металевих конструкцій, а також конструкцій з деревини, виконаних за допомогою обчислювального комплексу SCAD Office. Показано можливості автоматизованого аналізу і візуалізації напружено-деформованого стану типових моделей будівельних конструкцій.

Третя частина посібника містить докладні методичні вказівки щодо оформлення та виконання розрахунково-графічних робіт по курсам: «Будівельна механіка», «Металеві конструкції», «Залізобетонні конструкції» та «Конструкції з деревини». Студентам пропонується виконати дев'ять індивідуальних завдань, що стосуються розрахунку статично невизначуваних систем та найпоширеніших будівельних конструкцій методом скінченних елементів в програмному комплексі SCAD Office.

Викладений у навчально-методичному посібнику матеріал використовується під час навчання студентів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія за спеціалізацією – «Промислове і цивільне будівництво» у Чернігівському національному технологічному університеті.

# Частина I. ПРОЕКТНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС STRUCTURE CAD OFFICE ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

## 1. Структура та елементи керування режимом графічного діалогу, розрахунку, аналізу і документування результатів системи Scad Office

### 1.1. Загальне ознайомлення з проектно-обчислювальним комплексом SCAD

SCAD (*Structure construction automatic design*) – це програмний комплекс, що базується на методі скінченних елементів і призначений для розрахунку напружено-деформованого стану, стійкості, визначення частот і форм власних коливань, аналізу температурного впливу, розв'язку задач статички і динаміки в лінійній або нелінійній постановці, а також широкого класу будівельних, машинобудівельних й інших задач. Для системи SCAD характерні потужні аналітичні можливості і зручність в роботі з графічним інтерфейсом користувача середовища Windows.

SCAD складається з:

#### Проектно-аналітичних програм:

АРБАТ – програма підбору і перевірки арматури в елементах залізобетонних конструкцій (в нерозрізних балках і колонах), а також визначення прогинів в залізобетонних балках у відповідності до вимог нормативної літератури. Розрахунок виконується за граничними станами першої і другої групи для розрахункових зусиль, які вибираються автоматично в залежності від заданих навантажень;

КАМИН – програма, яка призначена для виконання конструктивних розрахунків і перевірки елементів і з'єднань кам'яних та армокам'яних конструкцій відповідно до нормативних вимог і документів;

КРИСТАЛ – програма, призначена для виконання конструктивних розрахунків і перевірок елементів і з'єднань сталевих конструкцій відповідно до нормативних документів.

#### Проектно-конструкторських програм:

МОНОЛІТ – програма проектування залізобетонних монолітних ребристих перекриттів;

КОМЕТА – програма розрахунку і проектування вузлів сталевих конструкцій будівель і споруд в промисловому і цивільному будівництві.

#### Допоміжні програми:

ВЕСТ – програма визначення навантажень і впливу оточуючого середовища на будівельні конструкції;

ФОРУМ – програма формування розрахункових моделей з укрупнених функціональних складових частин реальної будівлі, таких як колони, балки, стіни, перекриття, дахи тощо (можливий імпорт моделей з системи AutoCAD);

КРОСС – програма визначення коефіцієнтів постілі для розрахунку фундаментних конструкцій на пружній вінклерівській основі за допомогою моделювання роботи багат шарового ґрунтового масиву;

КОНСТРУКТОР ПЕРЕРІЗІВ – програма формування і розрахунку геометричних характеристик складальних перерізів з сталевих прокатних профілів і листів;

КОНСУЛ – програма формування і розрахунку геометричних характеристик на основі суцільних стержнів;

ТОНУС – програма формування і розрахунку геометричних характеристик на основі теорії тонкостінних стержнів;

СЕЗАМ – програма пошуку перерізу у вигляді квадрату, двотавра або швелера, який найбільш близько апроксимує заданим геометричним характеристикам перерізу.

### **СТВОРЕННЯ НОВОГО ПРОЕКТУ**

Для формування розрахункової схеми необхідно створити новий проект. Після запуску

розрахункового комплексу встановлюємо курсор на кнопку **Створити новий проект**



інструментальної панелі і натискаємо ліву кнопку миші (далі в тексті подібні операції будемо формулювати скорочено «**Створити новий проект**» з **Вказуванням типу схеми**).

На екрані з'являється діалогове вікно **Новий проект** (рис. 1.1), де заповнюємо позиції **Найменування, Організація і Об'єкт**. Серед запропонованих норм проектування вибираємо СНД. Тип розрахункової схеми назначаємо зі списку **Тип схеми**. В загальному випадку можна вибрати тип **5 – Система загального вигляду**. Призначаємо одиниці виміру, натискаємо кнопку **Одиниці виміру** і активізуємо тим самим однойменне діалогове вікно. В **списках Лінійні розміри, Розміри перерізів, Сили** встановлюємо розмірності, які можна зберегти для інших задач, встановивши галочку навпроти пункту **Використання за замовчуванням**.

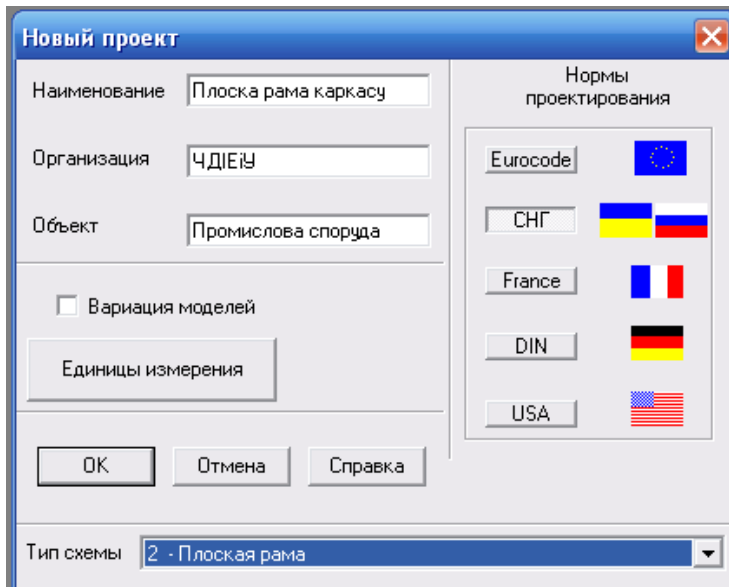



Рис. 1.1

Якщо передбачається введення даних до міліметра, то необхідно додати ще одну значущу цифру в число, яке позначає точність лінійних розмірів. Для цього натискаємо кнопку  навпроти пункту **Лінійні розміри**. В результаті виконаних дій діалогове вікно **Одиниці виміру** буде мати вигляд, який представлено на рис. 1.2.

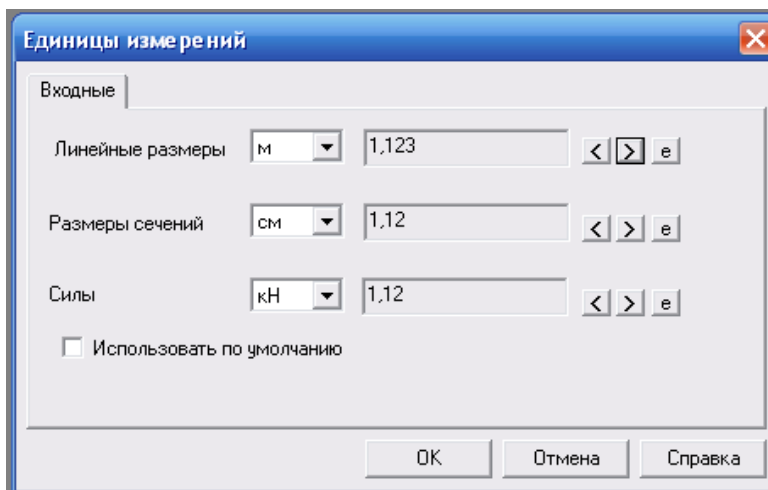


Рис. 1.2

Далі натискаємо кнопки **OK** в вікнах **Одиниці виміру** і **Новий проект**.

На екран виводиться діалогове вікно **Створення нового проекту SCAD**, в якому необхідно задати ім'я нового проекту. Ім'я може бути складено з прізвища користувача і назви вирішуваної задачі, наприклад: *Коваленко І. І. – Плоска рама каркасу*.

Після натискання кнопки **Зберегти**, розглядуваний проект реєструється в програмі і на екран виводиться дерево проекту, фрагмент якого представлений на рис. 1.3.

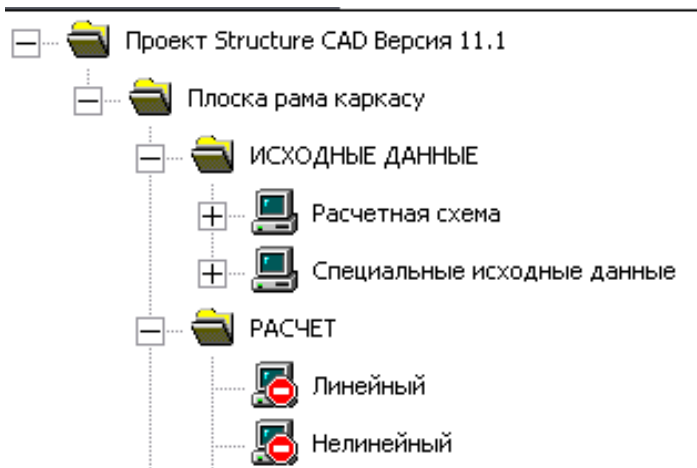


Рис. 1.3

Встановлюємо курсор на розділ Дерева **Розрахункова схема** і натискаємо ліву кнопку миші. Керування передається графічному препроцесору, який виконує синтез розрахункової схеми. Інструментальна панель препроцесора (рис. 1.4) включає в себе декілька вкладок: **Керування, Схема, Призначення, Узли і елементи, Завантаження, Групи**.

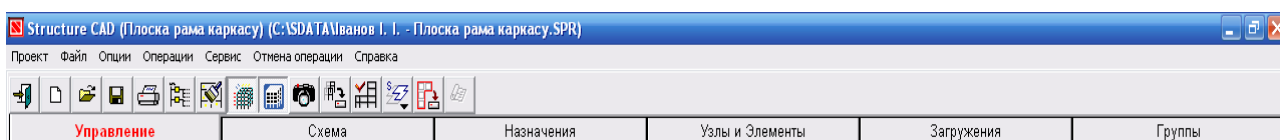


Рис. 1.4

В процесі роботи з комплексом можна керувати відображеннями інформації на розрахунковій схемі. Для цього необхідно активізувати однойменні кнопки на **панелі Фільтри відображення** (рис. 1.5). При значному загромодженні схеми відображення можна відключити, повторно натискаючи відповідну кнопку.

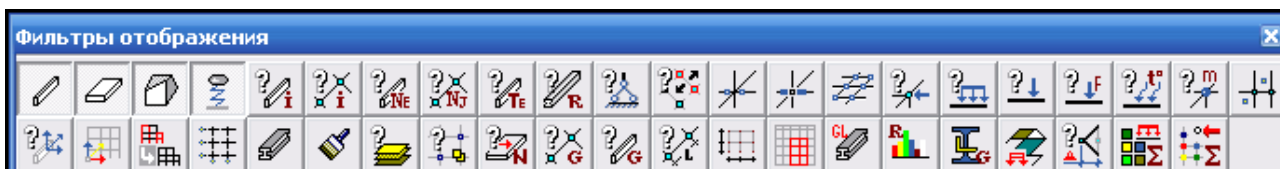


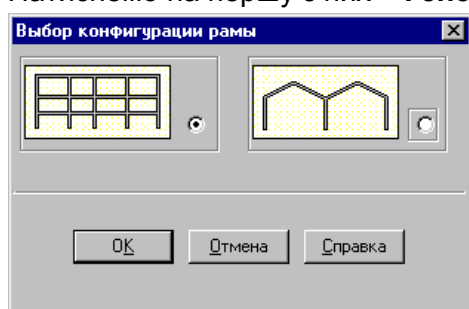
Рис. 1.5

З метою засвоєння принципів керування програмним комплексом наведемо приклад синтезу розрахункової схеми з виконанням розрахунків і аналізом отриманих результатів.

Виконавши крок за кроком описані нижче дії студент дуже швидко опанує стандартні можливості комплексу.

### **УВЕДЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ**

Встановимо курсор на закладці **Схема** і натиснемо ліву кнопку миші. В полі інструментальної панелі знаходяться кнопки створення різного виду розрахункових схем. Натиснемо на першу з них – **Генерація прототипу рами**.



кнопка **Генерація прототипу рами**.

На екран виводиться діалогове вікно вибору конфігурації рами (рис. 1.6).

Рис.1.6. Діалогове вікно Вибір конфігурації рами

Для призначення прототипу рами достатньо вказати курсором на піктограму з зображенням прототипу (або на кнопку з права від нього) і натиснути ліву кнопку миші.

В початковому стані активна кнопка вибору багатоповерхової багатопрогонової рами. Підтвердимо вибір натисненням кнопки **ОК**.

В діалоговому вікні, що з'явилося: **Задавання параметрів регулярної рами** (рис. 1.7) виконується уведення геометричних розмірів рами, призначаються жорсткості елементів і накладаються зв'язки у вузлах. Для уведення розмірів використовуються дві таблиці: ліва – для опису прогонів і права – для опису поверхів.

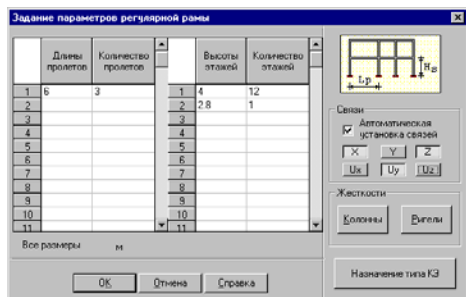


Рис. 1.7. Діалогове вікно

### Задавання параметрів регулярної рами

В якості навчальної схеми використаємо приклад, наведений на рис. 1.8. Уведемо в таблицю опис прогонів: три прогони по 6 м, а в таблицю опису поверхів – дванадцять поверхів по 4 м і один поверх висотою 2.8 м (рис. 1.8).

Після уведення геометричних параметрів рами можна задати зв'язки у вузлах (закріпити схему), призначити жорсткостні характеристики елементів, а також встановити тип скінчених елементів. Для завдання зв'язків використаємо набір кнопок, установлених в правій частині діалогового вікна. Активізуємо кнопки **X**, **Z** і **Uz**, що означає призначення зв'язків за відповідними напрямками. Для уведення жорсткостних характеристик колон і ригелів використовують кнопки **Колони** і **Ригелі**, а для призначення типів елементів – кнопку **Призначення типу СЕ**.

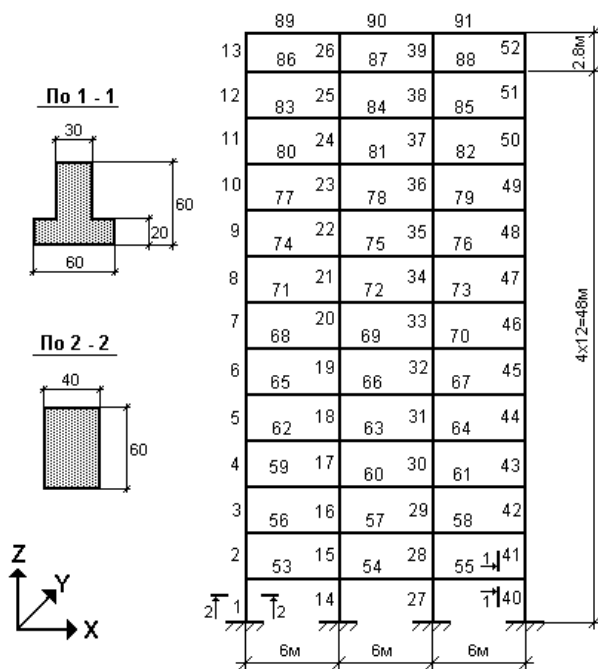


Рис. 1.8. Розрахункова схема

### Робота з таблицями

Для уведення табличної інформації в діалогових вікнах використовуються універсальні таблиці. При уведенні числових даних в таблиці необхідно дотримуватися наступних правил:

- поділом десятої і цілої частин числа є точка;
- при введенні чисел з плаваючою комою можна користуватися експоненціальною формою подання, наприклад, 3e-5;
- після завершення уведення числа необхідно натиснути клавішу **Enter**, після чого поле уведення перейде до наступної клітинки таблиці;
- в тих випадках, коли в діалоговому вікні для уведення використовуються дві

таблиці (рис. 1.7), перехід до наступної таблиці виконується натисненням клавіші табуляції – **Tab**;

- уведену в таблицю інформацію можна зберегти в системному буфері (**clipboard**), для цього необхідно виділити рядки з інформацією для збереження і натиснути клавішу **Ctrl+Ins**;
- інформація в таблицю може бути перенесена з системного буферу, для цього необхідно виділити рядки, в які вводиться інформація, і натиснути клавіші **Shift+Ins**;
- для видалення або очищення декількох рядків (блоку) або вставки нового рядка необхідно:
  - встановити курсор на номер першого рядка блоку, натиснути **ліву** кнопку миші і, не відпускаючи, протягнути до необхідного рядка (рядки блоку будуть відмічені);
  - натиснути **праву** кнопку миші (курсор при цьому повинен знаходитися в полі таблиці) і викликати меню;



- вибрати в меню необхідну операцію (Видалити блок, Очистити блок, Вставити рядок).

### УВЕДЕННЯ ЖОРСТКОСТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ

Коли задаються параметрами рами, то вважають, що уведені значення жорсткостних характеристик колон призначаються всім колонам. Аналогічно призначаються жорсткості всім ригелям. Для уведення жорсткостних характеристик колон натиснемо на кнопку **Колони** і виконуємо операції призначання в багатосторінковому діалоговому вікні **Жорсткості стержневих елементів** (рис. 1.9).

На першій сторінці цього вікна (**Вибір типу жорсткості**) необхідно активувати опцію **Параметричні перерізи**, тобто жорсткостні характеристики елементів будуть визначатися автоматично в залежності від форми і розмірів заданого перерізу. Після цього вкажемо на закладку **Параметричні перерізи** і задамо характеристики перерізу колон (рис. 1.10).

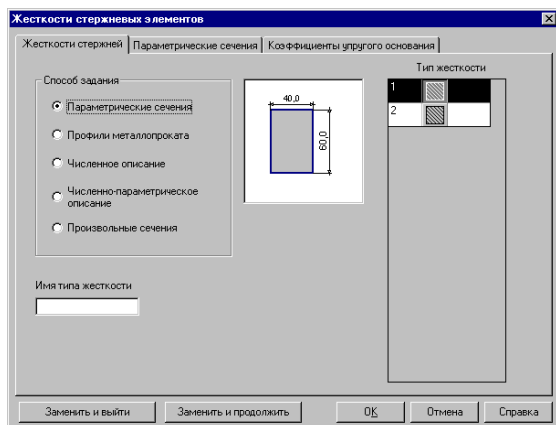


Рис. 1.9. Діалогове вікно Жорсткості стержневих елементів

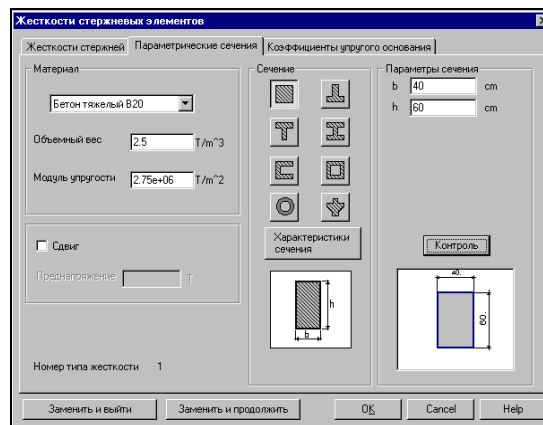


Рис. 1.10. Сторінка Параметричні перерізи

Порядок роботи наступний:

- зі списку **Матеріал** вибрати марку бетону, наприклад, B15;
- натиснути на кнопку з зображенням перерізу колони, в даному випадку – прямокутник;
- увести розміри перерізу в полях уведення;
- для контролю уведених даних натиснути кнопку **Контроль**;
- якщо призначення коректні – натиснути кнопку **ОК** (вікно закривається);

Після виконання останньої операції керування знову перейде до діалогового вікна завдання параметрів рами (рис. 1.7). Натиснемо кнопку **Ригелі** і виконаємо описані вище дії для призначання жорсткостних характеристик ригелів. Зверніть увагу на рис. 1.8 – ригелі на відміну від колон мають тавровий переріз.

### ПРИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

При генерації рами для всіх елементів автоматично встановлюється тип елемента, що відповідає типу схеми, призначеному при створенні проекту. Для зміни типу елемента натиснемо кнопку **Призначення типів скінчених елементів** і в діалоговому вікні (рис. 1.11) вибираємо необхідний тип. В нашому випадку – тип 2 (стержень плоскої рами).

При призначенні типу елемента зверніть увагу на інформацію, що розміщена зліва від піктограми з зображенням елемента.

Після установки типу елемента натиснемо кнопку **ОК** і повернемося в діалогове вікно **Завдання параметрів регулярної рами**.

### ГЕНЕРАЦІЯ СХЕМИ

Так як всі параметри рами визначені, то після натиснення кнопки **ОК** виконується генерація розрахункової схеми. Тут необхідно відмітити, що процес генерації, тобто запис всіх даних про розрахункову схему в пам'ять, може займати деякий час (2-3 с) і нам необхідно почекати, поки створена схема не з'явиться на екрані (рис. 1.12).



Рис. 1.11. *Діалогове вікно*  
**Призначення типу елемента**

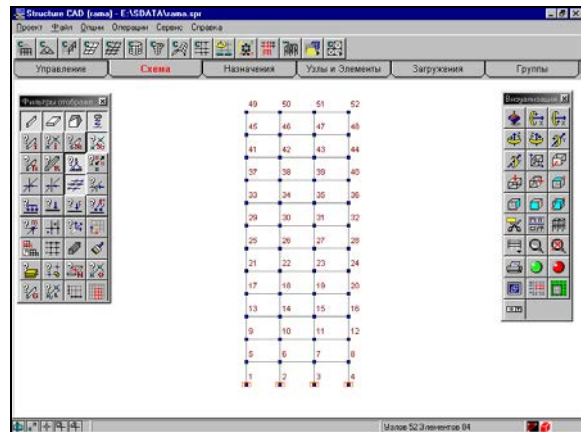


Рис. 1.12. Розрахункова схема рами

Після того, як схема створена, можна скористатися фільтрами керування відображення і отримати інформацію про номери вузлів і елементів, типах жорсткості і типах елементів. Для цього необхідно активувати необхідні кнопки на панелі фільтрів, наведені нижче.

-  – номери елементів
-  – типи елементів
-  – зв'язки
-  – номери вузлів
-  – типи жорсткості
-  – відображення вузлів

Якщо натиснути всі кнопки одночасно, інформації на схемі може виявитися дуже багато для зорового сприйняття та аналізу. Зручніше виводити інформацію одного виду. При натисненні кнопки фільтрів (вона як би «втискується») відповідна їй інформація виводиться на екран. При повторному натисненні кнопка «витискується» і інформація закривається.

На рис. 1.12 приведена отримана розрахункова схема з зображенням на ній міток вузлів, їх номерів і місць установки зв'язків.

В результаті виконаної роботи сформована розрахункова схема, задані зв'язки у вузлах, призначені типи скінченних елементів і їх жорсткісні характеристики. Для того щоб виконати розрахунок, залишилось задати навантаження.

### **ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ**

Операції призначення будь-яких параметрів вузлам або елементам (в даному випадку – значень навантаження) виконуються лише для вибраних об'єктів. Вибрати – це означає вказати курсором на об'єкт і натиснути **ліву** кнопку миші, після чого об'єкт маркується (відмічається) червоним кольором.

За замовчуванням активним є курсор для вибору одного вузла або елемента – перехрестя з мішенню. Для відмічання елементів, до яких прикладається навантаження, можна скористатися ним. Але в даному випадку необхідно послідовно відмічати кожний елемент. Якщо параметри призначаються одночасно декільком елементам, то зручніше скористатися одним з курсорів з рамкою – прямокутною або полігональною. Переключення на курсор іншого виду виконується за допомогою кнопок, розміщених в нижньому лівому куті вікна, або в діалоговому вікні **Вибір вузлів і елементів** (рис. 1.13). Це вікно відкривається натисненням **правої** кнопки миші в робочому полі. Окрім призначення виду курсору в цьому вікні можна встановити і правила вибору елементів в залежності від їх положення в схемі (фільтри вибору).

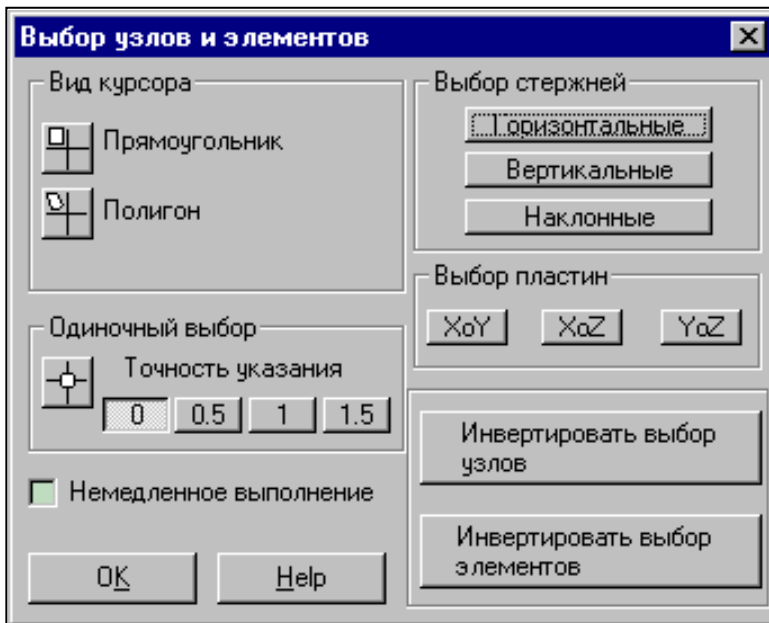


Рис. 1.13. *Диалогове вікно Вибір вузлів і елементів*

Порядок дії наступний:

- натиснути **праву** кнопку миші при положенні курсору в робочому полі;

- за допомогою кнопок групи **Вибір стержнів** назначити орієнтацію вибраних стержневих елементів (наприклад, розміщених вертикально);

- натиснути кнопку із зображенням курсору – прямокутної рамки.

В результаті вікно закриється і на екрані з'явиться вибраний курсор. Так як була натиснута кнопка

*Вертикальні елементи*, то при захваті рамкою всієї схеми вибраними будуть тільки колони. При активній кнопці *Горизонтальні елементи* вибираються тільки ригелі. При використанні курсорів-рамок вибираються тільки ті елементи, всі вузли яких попали в рамку.

При повторному вказуванні на вибраний об'єкт вибір відмінюється.

### ЗАДАВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

Функції задавання навантажень містяться в розділі **Завантаження** інструментальної панелі (рис. 1.14).

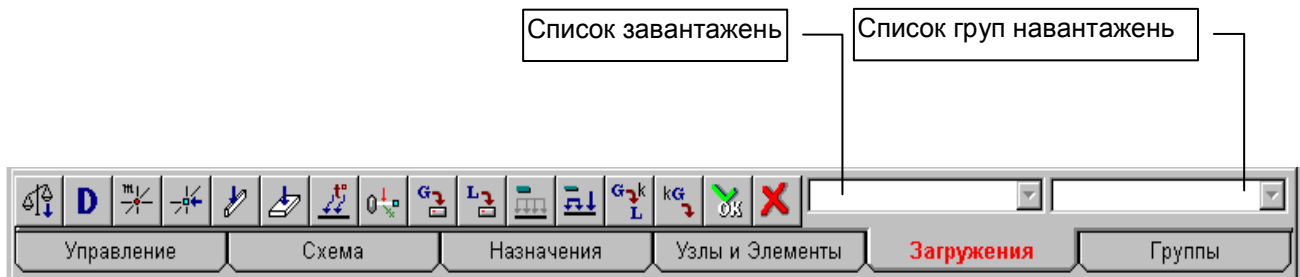


Рис. 1.14. Розділ **Завантаження** інструментальної панелі препроцесора




Режим завдання навантажень включає функції, що забезпечують автоматичне формування власної ваги конструкції, завдання динамічних і статичних навантажень різного виду на вузли і елементи схеми, збереження призначених навантажень у вигляді схем завантажень або груп навантажень.

Задамо навантаження на навчальну розрахункову схему у вигляді двох завантажень:



**Завантаження 1** – описує постійне навантаження на перекриття і покриття та власну вагу колон, які задаються як рівномірно розподілене навантаження на ригелі – 4.36 т/м, і рівномірно розподілене навантаження на колони – 0.66 т/м. Навантаження задаються за напрямком вісі **Z** загальної системи координат;



**Завантаження 2** – описує тимчасове з заниженим нормативним значенням навантаження. Задається аналогічно **завантаженню 1**, але з іншими значеннями навантажень – відповідно 3.57 і 0.54 т/м.

Для завдання цих навантажень скористаємося наступними кнопками інструментальної панелі:

-  уведення навантажень на стержневі елементи;
-  очистка поточного завантаження або групи;
-  запис завантаження.

Для уведення навантажень необхідно виконати наступні операції:

- натиснути кнопку **Завдання навантажень на стержневі елементи**  і задати у діалоговому вікні (рис. 1.15) вид, напрямок і значення першого навантаження;
- натиснути кнопку **ОК** в діалоговому вікні;
- вибрати на схемі елементи, яким призначається навантаження;
- натиснути кнопку  в інструментальній панелі режиму **Завантаження**;
- повторити описані вище дії для другого виду навантаження першого завантаження.

Якщо активувати фільтр відображення розподіленого навантаження , то уведені навантаження будуть показані на розрахунковій схемі. При включеному фільтрі візуалізації значень навантаження  поряд з навантаженням буде показано його значення.

Фрагмент розрахункової схеми з відображенням заданих навантажень показано на рис. 1.16.

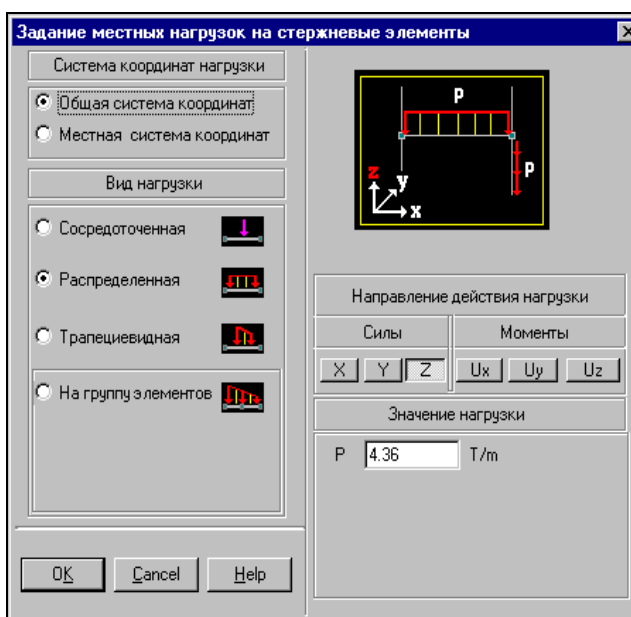


Рис. 1.15. Діалогове вікно **Завдання місцевих навантажень на стержневі елементи**

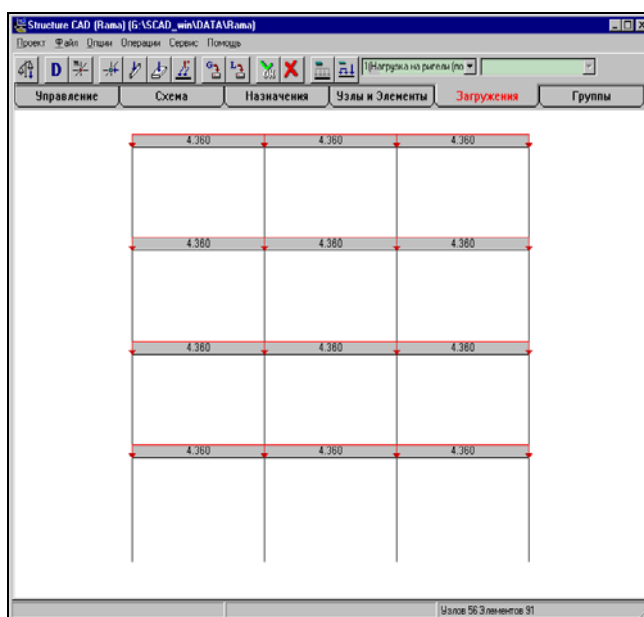





Рис. 1.16. Відображення навантажень на фрагменті розрахункової схеми


Для запису завантаження необхідно натиснути кнопку  в інструментальній панелі. В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** ввести ім'я завантаження і натиснути кнопку **ОК**. Уведення імені не є обов'язковим, але ця інформація дозволяє краще орієнтуватися при аналізі вихідних даних і результатів розрахунку. Номер завантаження буде присвоюватися автоматично (зі згоди користувача), про що повідомляється в спеціальному вікні.

Перед тим, як увести наступне завантаження, скористайтесь операцією  – очистка поточного завантаження. При її виконанні виконується очистка схеми від навантажень поточного завантаження. Після цього можна готувати нове завантаження. Якщо при запису завантаження йому надати номер раніше створеного, то воно буде записано замість нього.


Для завершення уведення поточного завантаження його необхідно зберегти  (записати в проект). В інакшому випадку завантаження не буде враховано при виконанні розрахунку.


## РОЗРАХУНОК

Для виконання розрахунку повертаємось до **Дерева проекту** та активізуємо закладку

**Керування** в інструментальній панелі і натискаємо кнопку  *Увійти в екран керування проектом (Дерево проекту)*.

В групі функцій **Розрахунок** встановимо курсор в позицію **Лінійний** і натиснемо ліву

кнопку миші. Якщо позиція **Лінійний** має вигляд  («виконання неможливо»), то розрахунок недоступний (рис. 1.17). Причиною цього, як правило, є повна або часткова відсутність обов'язкових вихідних даних. До них відносяться: навантаження, жорсткостні характеристики і, звичайно, опис геометрії розрахункової схеми. В тих випадках, коли дані відсутні або задані не для всіх елементів схеми (останнє стосується жорсткості), піктограма відповідної гілки **Дерева проекту** в розділі Розрахункова схема містить запитальний знак

. Якщо функція недоступна (наприклад, призначення комбінацій завантажень до уведення самих завантажень), то її піктограма в **Дереві проекту** включає знак «виконання

неможливе» – . Всі доступні на поточному кроці роботи функції помічаються піктограмою

«дія доступна» – .

Рекомендуємо перед виконанням розрахунку «пройтися» по **Дереву проекту** і переконатись в тому, що всі вихідні дані, які необхідно задати для розрахунку, дійсно уведені і знаходяться в проекті. В іншому випадку необхідно повернутися до відповідної функції підготовки даних і увести інформацію, якої не вистачає.

Оскільки нами створена нова схема, то перед виконанням розрахунку автоматично виконується операція збереження проекту.

В разі, коли отримано повідомлення про те, що процесор (рис. 1.18) завершив розрахунок, переходимо до аналізу результатів.

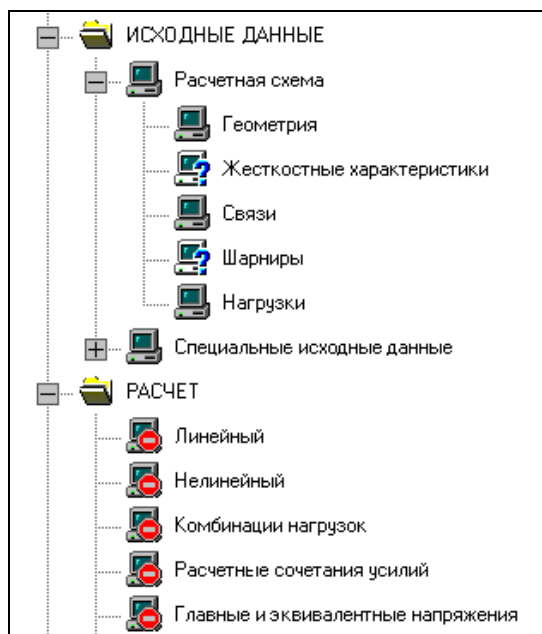


Рис. 1.17. Фрагмент **Дерева проекта**

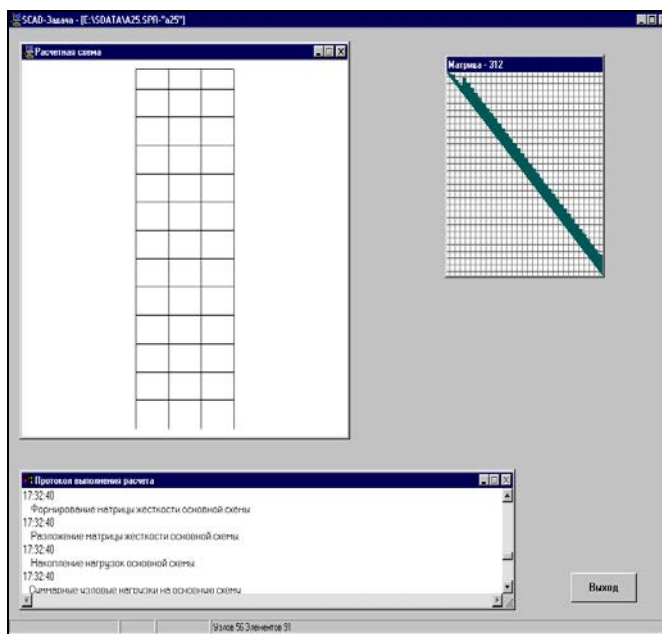


Рис. 1.18. **Вікно Процесора**

## ГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ

Після завершення розрахунку і вказування на кнопку **Вихід** у вікні процесора керування передається **Дереву проекту**. Якщо розрахунок завершено успішно, то наступним кроком буде графічний аналіз отриманого рішення. Встановимо курсор в позицію **Графічний аналіз**

розділу **Результати** дерева проекту і натиснемо **ліву** кнопку миші. При цьому активується вікно постпроцесора (рис. 1.19), інструментальна панель якого містить різні функції відображення результатів розрахунку.

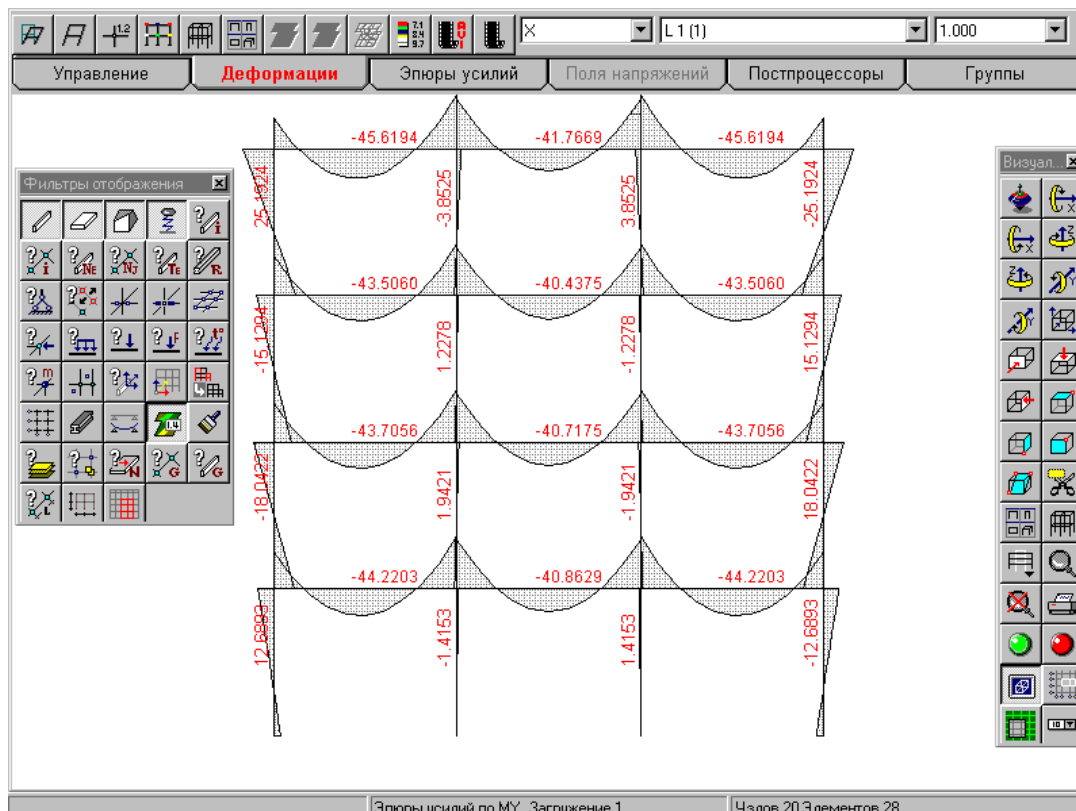


Рис. 1.19. Вікно SCAD в режимі графічного аналізу результатів

### АНАЛІЗ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Аналіз переміщень виконується за допомогою функцій розділу **Деформації** (рис. 1.20). Для цього необхідно виконати наступні операції:

- активувати режим аналізу переміщень (закладка **Деформації**);
- вибрати в списку завантаження;
- вибрати напрямок переміщень;
- натиснути одну з кнопок функцій відображення результатів.

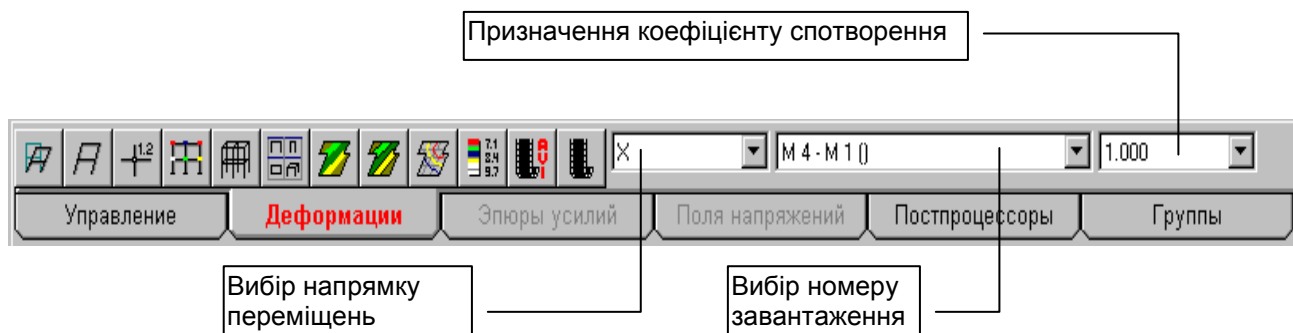






Рис. 1.20. Інструментальна панель режиму аналізу переміщень (**Деформації**)

Набір функцій відображення дозволяє отримати різні форми подання результатів розрахунку переміщень. Кожній формі відповідає кнопка в інструментальній панелі. При аналізі переміщень від статичних завантажень в стержневих конструкціях можна скористатися кнопками:






– виведення деформованої схеми на фоні вихідної;

-  – виведення деформованої схеми;
-  – виведення значень переміщень в вузлах;
-  – кольорова індикація значень переміщень в вузлах;
-  – відновлення вихідного зображення схеми.

### АНАЛІЗ ЗУСИЛЬ

Розглянемо інструментальну панель розділу **Епюри зусиль** (рис. 1.21).

В цьому режимі для аналізу зусиль використовуються кнопки:

-  – виведення епюр;
-  – кольорова індикація максимальних додатних значень заданого фактору;
-  – кольорова індикація максимальних від'ємних значень заданого фактору.

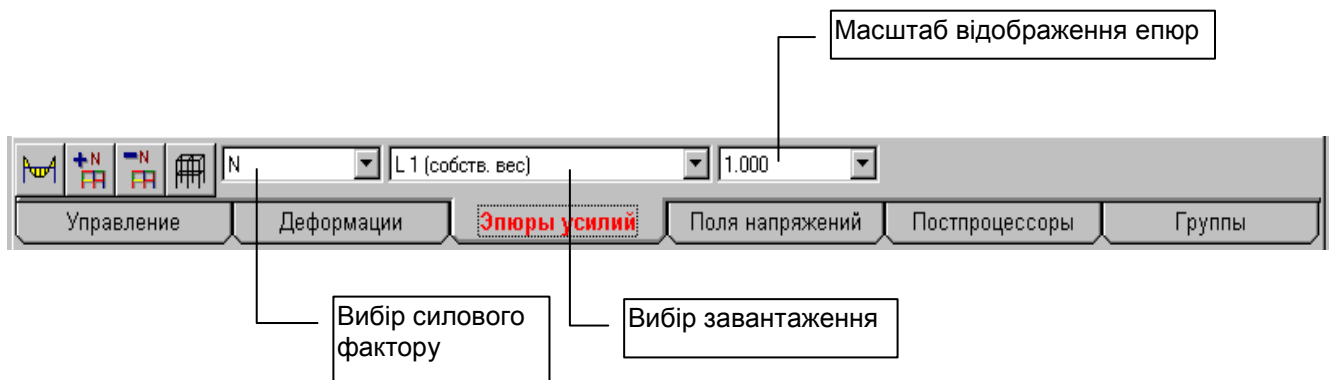


Рис. 1.21. Інструментальна панель режиму аналізу зусиль

### Друкування результатів

В комплексі реалізовані різні функції текстового подання результатів. В найпростішому випадку виведення інформації на друк може виконуватися в форматах редактора WordPad, який поставляється разом з Windows. Для того, щоб роздрукувати результати розрахунку, необхідно перейти в **Дерево** і активувати позицію **Друк таблиць** розділу **Результати**. В діалоговому вікні **Оформлення результатів розрахунку** (рис. 1.22) вибираємо розділ, наприклад, **Переміщення** і активізуємо його. Необхідно звертати увагу на умовні позначення, які стоять поряд з найменуванням розділу. Знаком «мінус» відмічаються розділи, по яких результати відсутні, знак у вигляді комп'ютера показує, що в результаті розрахунку отримана інформація по даному розділу, а знак у вигляді принтера показує, що формування таблиць результатів виконано, їх можна переглянути і роздрукувати.

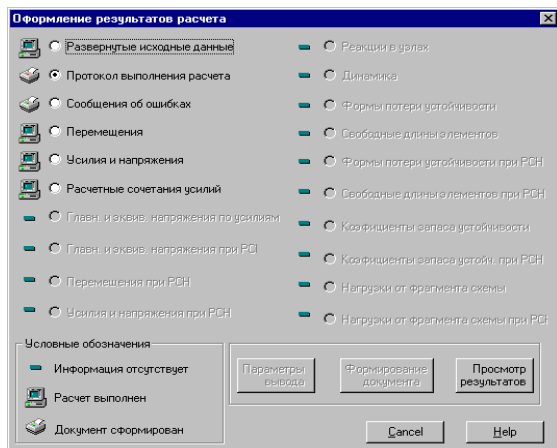


Рис. 1.22. Діалогове вікно

### Оформлення результатів розрахунку

Якщо необхідно роздрукувати частину результатів, наприклад, переміщення тільки для

вказаних вузлів, то першою необхідно натиснути кнопку **Параметри виведення** і виконати налаштування на необхідні параметри.

За допомогою кнопки **Формування документа** виконуються операції формування таблиць. Цю кнопку натискаємо другою.

Після того, як поряд з вибраним розділом результатів появиться значок «принтер», можна натискати на кнопку **Перегляд результатів**, викликаючи тим самим редактор WordPad з таблицями результатів (рис.1.23). Для автоматичного виклику редактора, необхідно виконати призначення його виду і шляху в розділі **Налаштування графічного середовища** меню *Опції*.

Необхідно відмітити, що суттєвим фактором, який впливає на подання результатів в таблицях, є вибір шрифту (Font). Зручність читання таблиць забезпечують шрифти Courier (Cyrillic) або Courier New (Cyrillic), в яких всі букви і цифри мають однакову ширину (так званий непропорційний шрифт).

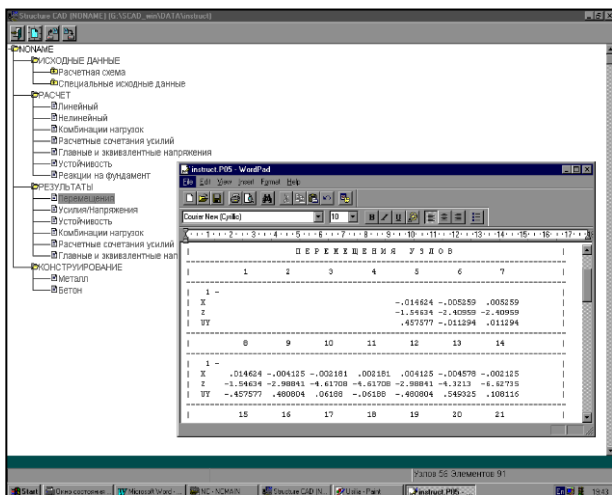


Рис. 1.23. Подання таблиці результатів в редакторі WordPad

Таким чином, активація будь-яких функцій комплексу виконується з **Дерева проекту**. При підготовці вихідних даних більшість операцій виконується в такій послідовності:

- указуванням на закладку встановити необхідний розділ в інструментальній панелі;
- натиснути на кнопку з піктограмою виконуваної операції;

- якщо для виконання операції необхідна допоміжна інформація, необхідно заповнити дані в діалоговому вікні, що відкрилося;
- вибрати необхідні вузли або елементи;
- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Інструментальна панель**, відповідно до обраної операції.

Для швидкого відображення результатів можна включити відповідний фільтр. Це дозволяє контролювати процес уведення і оперативно вносити зміни до виконуваних дій.

При графічному аналізі результатів рекомендується діяти в такій послідовності:

- указуванням миші на закладку встановити розділ інструментальної панелі з необхідною інформацією (**Деформації, Епюри зусиль, Поля напружень**);
- вибрати необхідне завантаження;
- вибрати вид фактору, що аналізується (напрямок переміщень або вид силового фактору) і форму графічного подання результатів (деформована схема, епюри, ізополя тощо).

### Контрольні питання

1. З яких програм складається розрахунковий комплекс SCAD?
2. Поясніть як створюється новий проект в програмному комплексі SCAD?
3. Що включає в себе інструментальна панель препроцесора?
4. Як ввести жорсткостні характеристики елементів?


















## 1.2. Створення розрахункових схем стержневих конструкцій

Більшість операцій формування схем стержневих конструкцій зосереджено в розділі **Схема** інструментальної панелі (рис. 1.24).




Рис. 1.24. Розділ **Схема** інструментальної панелі препроцесора

У цьому розділі можна сформувати:

-  - рамні конструкції;
-  - схеми поздовжнього каркасу;
-  - плоскі шарнірно-стержневі системи;
-  - плоска ортогональна сітка скінченних елементів;
-  - балочні ростверки;
-  - типові поверхні обертання;
-  - поверхні обертання, задані аналітично;
-  - оболонки, задані аналітично;
-  - створення координатної сітки;
-  - геометричні перетворення;
-  - копіювання схеми;
-  - копіювання фрагмента схеми;
-  - видалення схеми;
-  - складання схеми з декількох схем;
-  - триангуляцію плоскої області.

### **ПРОСТОРОВІ БАГАТОПРОГОНОВІ БАГАТОПОВЕРХОВІ РАМИ**

 Розглянемо формування просторових стержневих систем. В основі цієї операції лежить принцип дублювання розташованої в площині XOZ правої декартової системи координат XYZ поперечної конструкції плоскої рами (поперечника) із заданим кроком у напрямку осі Y. При цьому поздовжні конструкції утворюються шляхом породження стержнів у напрямку осі Y з кожного вузла поперечної конструкції. У найпростішому випадку, якщо прийняти, що в якості прототипу використана сформована нами рама, то після 5-кратного дублювання її із кроком 6 м формується схема, зображена на рис. 1.25.

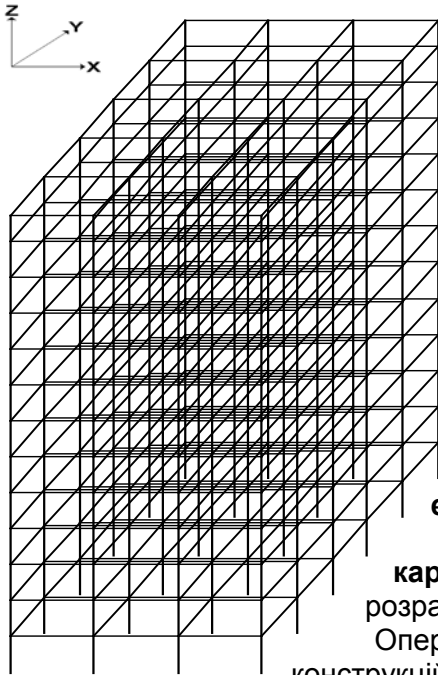



Рис. 1.25. Розрахункова схема, отримана шляхом 5-кратного дублювання рами в напрямку осі Y.

Для виконання цієї операції в розділі **Схема**

передбачена спеціальна кнопка , при натисканні якої відкривається діалогове вікно **Схема поздовжнього каркаса** (рис. 1.26). У цьому вікні вводиться крок дублювання й кількість повторень (крок може бути змінним), а також призначаються жорсткостні характеристики введених у напрямку осі Y стержнів (кнопка **Ригели**). Для виконання останньої операції використовується вікно **Жорсткості стержневих елементів**.

Після задавання даних у вікні **Схема поздовжнього каркаса** й натискання кнопки **ОК** виконується генерація розрахункової схеми (рис. 1.25).

Операція дублювання виконується тільки для стержневих конструкцій, поперечний переріз яких сформовано за допомогою параметричного прототипу. Для дублювання довільних стержневих систем використовуються спеціальні функції.

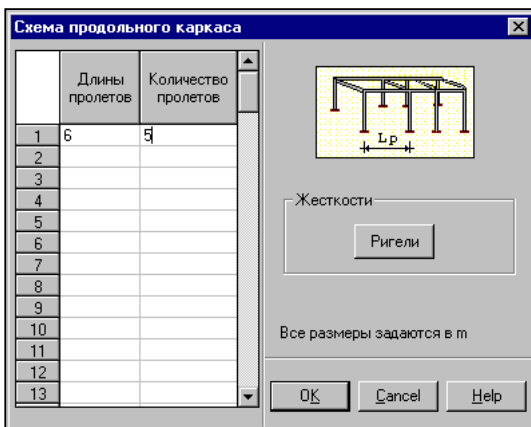


Рис. 1.26. Діалогове вікно **Схема поздовжнього каркаса**

### Просторові одноповерхові рами

Повернемося до розділу **Схема** інструментальної панелі й після натискання кнопки **Генерація прототипу рами** виберемо в діалоговім вікні **Вибір конфігурації рами** тип, зображений ліворуч. У діалоговому вікні (рис. 1.27) задамо параметри розрахункової схеми. Зверніть увагу, що для цього класу конструкцій поряд з уведенням уже

знайомих нам жорсткостних характеристик елементів схеми й зв'язків передбачена можливість задавання таких даних, як ухили ригелів, висотне й планове положення опор підкранових балок. Задамо ці характеристики й згенеруємо схему, зображену на рис. 1.28.

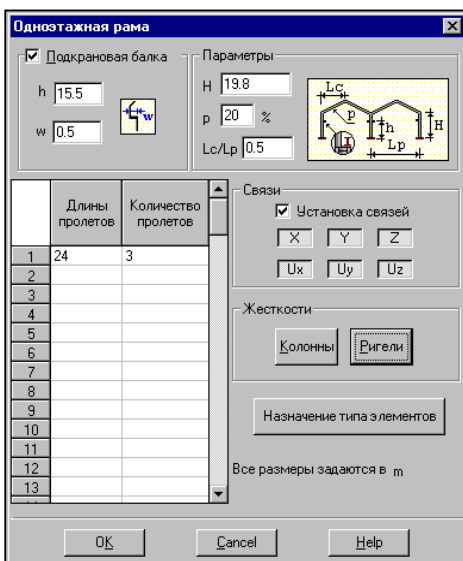



Рис. 1.27. Діалогове вікно **Одноповерхова рама**

Для моделювання обпирання підкранових балок на крайніх колонах у розрахунковій схемі передбачається зсув осей підкранової частини колони щодо надкранової частини з використанням жорстких вставок.

На середніх колонах вводяться проміжні вузли й вибір способу моделювання обпирання підкранових балок (уведення консолей, приведення навантажень до центрального вузла й ін.) залишається за користувачем. Для того щоб відобразити на схемі тверді вставки,

скористаємося кнопкою фільтрів . Оскільки тверді вставки вводяться за напрямком місцевої осі  $Z_1$  елемента, то при відключеній кнопці фільтра елементи,

що моделюють надкранову частину колони, будуть відображатися під кутом.

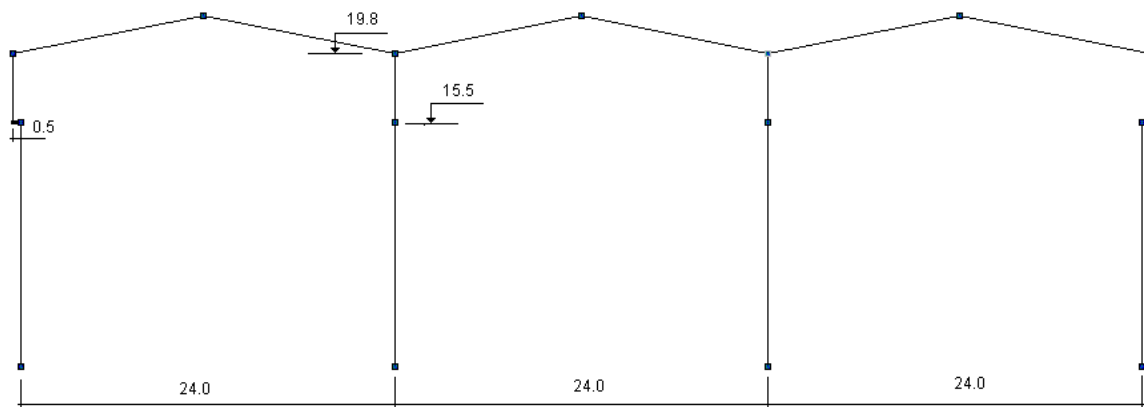

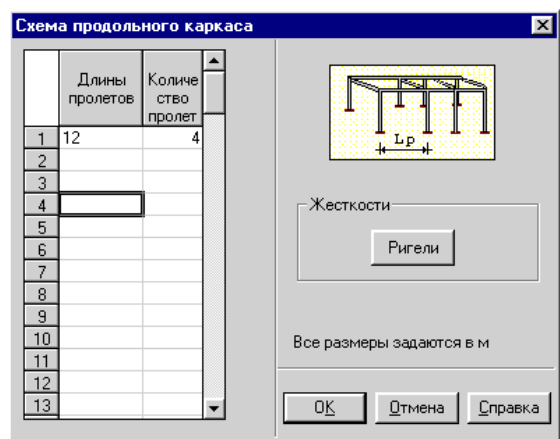


Рис. 1.28. Розрахункова схема поперечної одноповерхової рами

Аналогічно тому, як ми формували просторову схему багатоповислової конструкції, скористаємося кнопкою  у розділі **Схема** й задамо параметри дублювання поперечника. Ці операції виконуються в діалогові вікні (рис. 1.29). Зверніть увагу, що в цьому випадку задаються жорсткісні характеристики для двох видів стержнів, що зв'язують поперечні рами,



якщо не передбачається моделювання підкранових балок, або трьох видів – якщо підкранові балки введені в модель. У першому випадку стержні будуть з'єднувати верхні вузли колон і точки перегину балок покриття, у другому додадуться стержні, що з'єднують вузли на позначках підкранових балок.

Рис. 1.29. Діалогове вікно **Схема поздовжнього каркаса** для одноповерхових рам

Отриману в результаті схему показано на рис. 1.30.

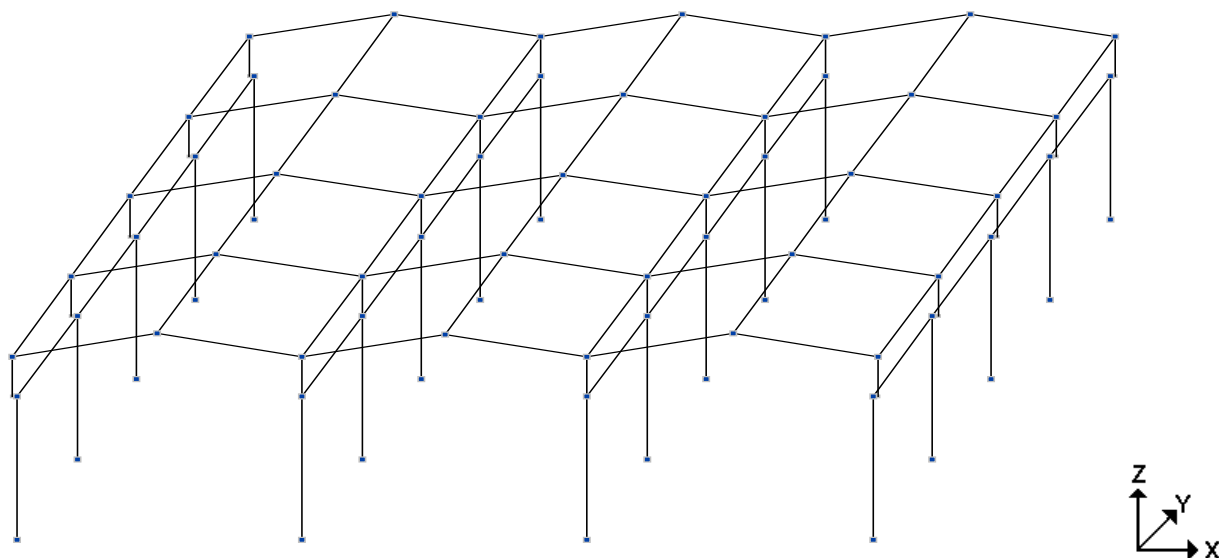


Рис. 1.30. Розрахункова схема, отримана шляхом 4-кратного дублювання рами (рис. 1.28) у напрямку осі Y

## ФОРМУВАННЯ ПЛОСКИХ ШАРНІРНО-СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ



Для формування розрахункової схеми ферми можна скористатися наявною в комплексі бібліотекою параметричних прототипів – найчастіше використовуваних ферм. Вибір прототипу ферми здійснюється за двома параметрами – окресленням поясів і схемою решітки. Після натискання кнопки в розділі **Схема** відкривається діалогове вікно **Конфігурація поясів ферми** (рис. 1.31), у якому вибирається прототип ферми за окресленням поясів.

У цьому вікні слід активізувати опцію з найменуванням потрібного прототипу й натиснути кнопку **ОК**. У результаті відкриється діалогове вікно **Параметри ферми** (рис. 1.32), де й проводиться остаточний вибір прототипу й задавання його параметрів. Якщо параметри ферми задано коректно, то після натискання кнопки **ОК** на екран буде виведена схема.

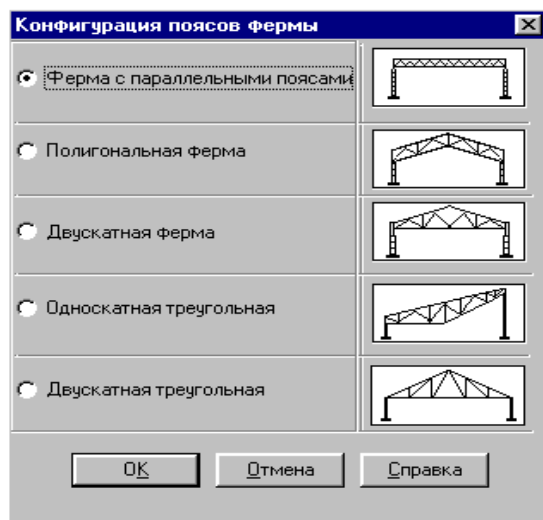


Рис. 1.31. Діалогове вікно **Конфігурація поясів ферми**

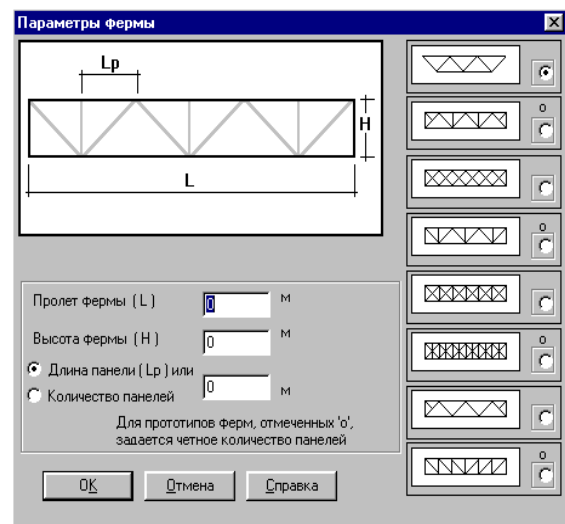
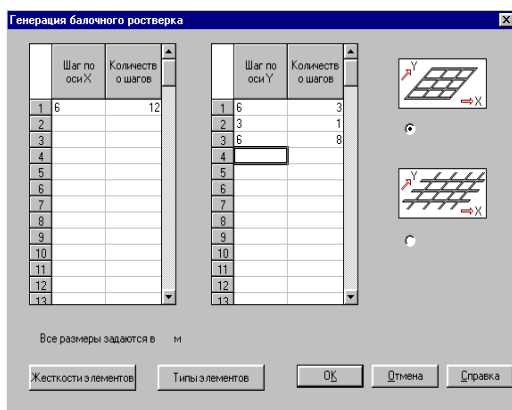


Рис. 1.32. Діалогове вікно **Параметри ферми**

При задаванні параметрів ферми допускається два варіанти визначення панелей – вказуванням їхньої кількості або довжини. У першому випадку всі панелі будуть мати однакову довжину, у другому, якщо довжина ферми не кратна довжині панелі, крайні панелі будуть укорочуватися.

На відміну від функції генерації розрахункових схем за прототипами рамних конструкцій при формуванні шарнірно-стержневих систем відсутня операція призначення жорсткості елементам схеми. Це пов'язане з різноманітністю перерізів елементів у системах такого класу. Для задавання жорсткості слід скористатися відповідними функціями в розділі **Призначення**.

## ФОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ БАЛКОВОГО РОСТВЕРКУ



Для формування розрахункової схеми балкового ростверку скористаємося відповідною функцією в розділі **Схема**. Аналогічно іншим прототипам стержневих конструкцій вихідні дані для цього виду схем задаються в «своєму» діалоговім вікні (рис. 1.33).

Рис. 1.33. **Генерація балкового ростверку**



При формуванні схеми балкового ростверку передбачена можливість створення схем двох конфігурацій – відкритої по контуру й замкненої (рис. 1.34 і 1.35, відповідно). Вибір конфігурації схеми виконується за допомогою відповідних кнопок, розташованих у правій частині вікна.

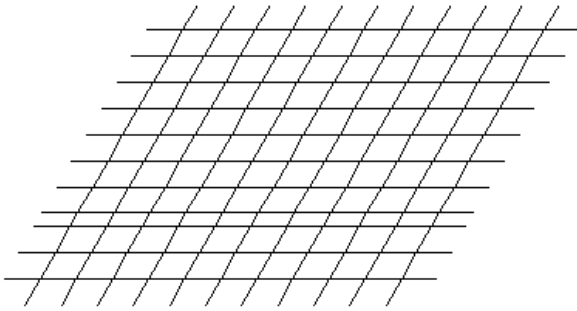


Рис. 1.34. Приклад відкритого по контуру ростверку

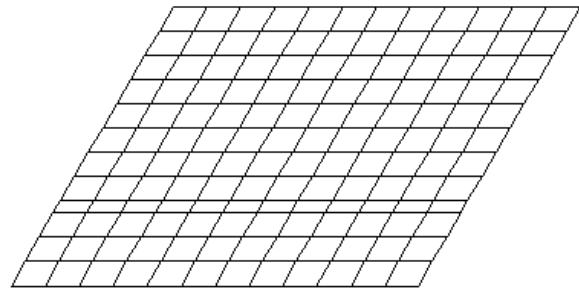


Рис. 1.35. Приклад закритого по контуру ростверку

### СТВОРЕННЯ СХЕМИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ЯКОСТІ ПІДКОНСТРУКЦІЇ

Якщо режим формування розрахункової схеми параметричної конструкції активізується на фоні вже існуючої схеми, то з'являється вікно повідомлень (рис. 1.36), у якому пропонується вибрати варіант продовження роботи:

- вилучити поточну схему й створити нову (кнопка **Так/Yes**);
- використовувати нову схему як додаткову підсхему (кнопка **Ні/No**).

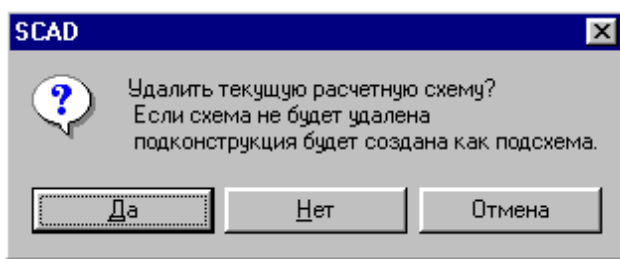


Рис. 1.36. Вікно повідомлень

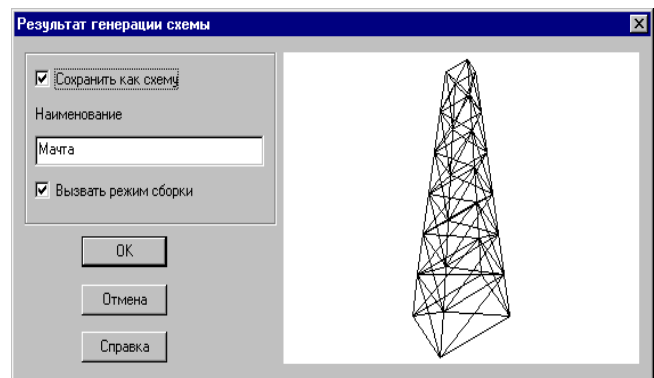




Рис. 1.37. Діалогове вікно **Результат генерації схеми**

У першому випадку нова схема замінює раніше сформовану. У випадку вибору другого варіанта після задавання параметрів розрахункової схеми з'являється діалогове вікно **Результат генерації схеми** (рис. 1.37). У цьому вікні передбачені опції **Зберегти як схему** й **Викликати режим складання**. Активізація першої опції забезпечує збереження нової схеми у вигляді самостійного проекту, ім'я якого вводиться у відповідному полі. Якщо обрана друга опція, то після підтвердження призначень кнопкою **ОК** автоматично викликається режим складання, у якому нова схема виступає в якості підконструкції (підсхеми) раніше створеної схеми. Обидві опції можна використовувати одночасно.

### ПЛОСКІ СТЕРЖНЕВІ СИСТЕМИ

Сформуємо розрахункову схему плоскої стержневої системи за допомогою функції введення вузлів і елементів.

Активізуємо закладку інструментальної панелі **Вузли й елементи**, де дві кнопки  –

**Вузли** й  – **Елементи** мають ще незнайомі нам властивості. Після натискання однієї з них у розділі розкривається набір кнопок, за допомогою яких керують роботою з **Вузлами** або **Елементами**. Вводити елементи, не прив'язуючи їх до вузлів, неможливо, тому почнемо з введення вузлів.

## ВВЕДЕННЯ ВУЗЛІВ

Натиснемо кнопку **Вузли**



й виберемо в наборі кнопок функцію **Введення вузлів**



У правому верхньому куті робочого поля відкривається діалогове вікно **Введення вузлів** (рис. 1.38).

Рис. 1.38. Діалогове вікно. **Введення вузлів**

За допомогою функцій цього вікна можна увести один вузол або групу вузлів, розташованих на однаковій відстані один від одного, тобто із заданим кроком повторення. Для уведення одного вузла досить задати його координати в полях лівої частини вікна й натиснути кнопку **Додати**. Якщо

активний фільтр **Вузли**



(а якщо ні, то вузли, що вводяться, не будуть відображатися на екрані), то після кожного натискання кнопки **Додати** на екрані буде з'являтися новий вузол.

## ВВЕДЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ

Натисніть кнопку **Елементи**



й тим самим розкрийте набір кнопок, керуючих роботою з елементами. Для введення стержневих елементів використовується кнопка **Введення**



**стержнів**. Активізуйте цю кнопку й встановіть курсор з мішенню на перший вузол елемента, що вводиться. Натисніть ліву кнопку миші й простягніть «гумову нитку» до другого вузла. Повторним натисканням лівої кнопки в області другого вузла зафіксуйте введення елемента. Послідовно повторюючи описані вище дії, уведіть інші елементи.

Створимо нескладну розрахункову схему зі стержневих елементів, наприклад, трипрольотну одноповерхову раму, зображену на рис. 1.39. Використаємо при формуванні схеми наведений у таблиці порядок виконання операцій у діалоговому вікні **Введення вузлів** (див. рис. 1.38).

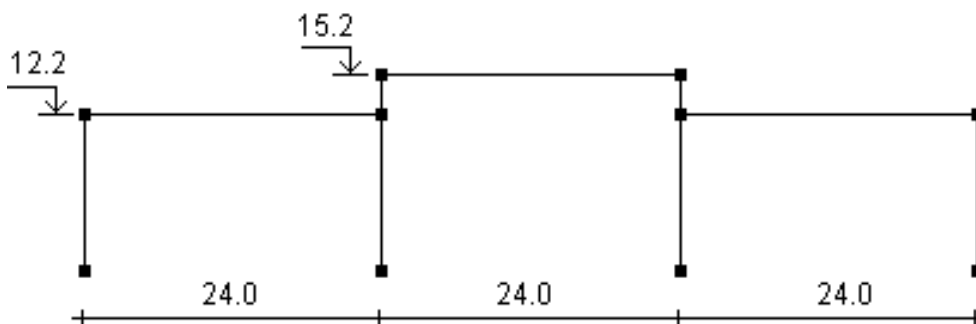


Рис. 1.39. Розрахункова схема трипрольотної одноповерхової рами

| X    | Y   | Z    | Ознака    | dX   | dY | dZ | N | Дія      |
|------|-----|------|-----------|------|----|----|---|----------|
| 0.0  | 0.0 | 0.0  | Повторити | 24.0 | 0  | 0  | 3 | Добавити |
| 0.0  | 0.0 | 12.2 | Повторити | 24.0 | 0  | 0  | 3 | Добавити |
| 24.0 | 0.0 | 15.2 | —         |      |    |    |   | Добавити |
| 48.0 | 0.0 | 15.2 | —         |      |    |    |   | Добавити |

Після задавання вузлів можна перейти до введення елементів. При введенні вертикальних стержневих елементів бажано дотримуватися такого порядку позначення вузлів, при якому першим призначається нижній вузол. У цьому випадку місцева вісь елементів  $X_1$  буде спрямована вгору.

### 1.3. Розрахункові схеми конструкцій із пластинчастих елементів

У даному розділі розглянемо функції формування розрахункових схем із плоских скінченних елементів. До них відноситься створення прямокутної й трикутної сіток скінченних елементів на площині.

#### ФОРМУВАННЯ ПРЯМОКУТНОЇ СІТКИ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ПЛОЩИНІ



За допомогою цієї функції може бути створена прямокутна сітка зі змінним або постійним кроком, розташована в площині XOY або XOZ. Призначення параметрів сітки виконується в діалогові вікні, зображеному на рис. 1.40.

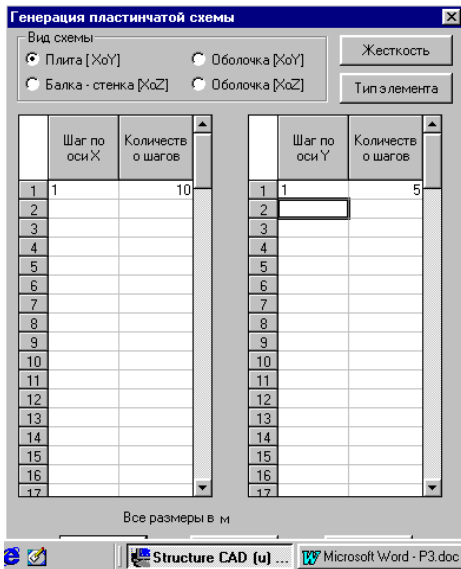


Рис. 1.40. Діалогове вікно Генерация пластинчастої схеми

Тип схеми і її положення в просторі призначаються за допомогою кнопок, установлених у верхній частині вікна. При правильному виборі типу схеми скінченним елементам автоматично буде призначений тип і його не доведеться змінювати в процесі роботи зі схемою. *Плитам за замовчуванням призначається тип 11, балкам-стінкам – 21, оболонкам – 41.* Якщо для конкретної конструкції кращим є інший тип елемента, то він може бути призначений за допомогою кнопки **Тип елемента** в діалогові вікні **Призначення типу елемента**. Для генерації схеми введемо в таблицю параметри розбивки за двома напрямками, а також жорсткостні характеристики елементів (кнопка **Жорсткість**).

Як приклад розглянемо генерацію плити, 10x5 м із кроком сітки 1м за обома напрямками. Для цього задамо крок 1м за напрямком X, кількість кроків - 10, а також крок 1м за напрямком Y, кількість кроків - 5. Після натискання кнопки **ОК** буде сформована схема, показана на рис. 1.41.

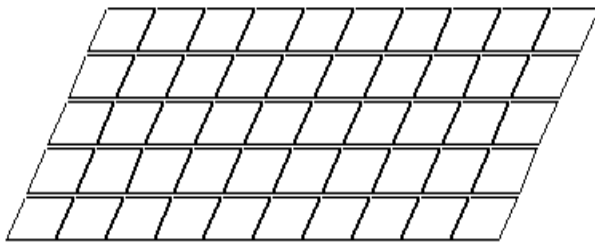


Рис. 1.41. Прямокутна плита з постійним кроком сітки скінченних елементів

При формуванні сітки з різним кроком вводяться величини кроків і кількість повторень за кожним напрямком. Якщо в попередньому прикладі змінити величину кроку в напрямку X на 0.5 м, одержимо схему, зображену на рис. 1.42.

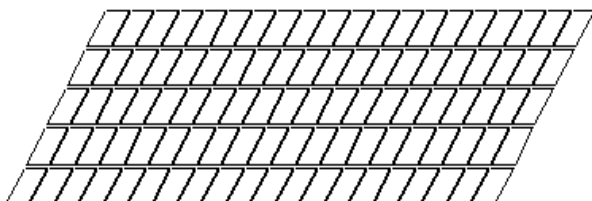


Рис. 1.42. Схема плити з різним кроком сітки уздовж осей X и Y

І, нарешті, розглянемо випадок, коли уздовж осей задано змінний крок сітки (рис. 1.43). Як приклад задамо наступні параметри розбивки:

| Крок вздовж вісі X | Кількість кроків | Крок вздовж вісі Y | Кількість кроків |
|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| 0.5                | 6                | 0.25               | 8                |
| 0.25               | 8                | 0.5                | 6                |
| 1                  | 5                |                    |                  |

При призначенні різного кроку сітки слід пам'ятати, що найбільш якісний розв'язок буде отриманий при співвідношенні сторін чотири вузлових скінченних елементів близьким до 1. Не рекомендується призначати співвідношення більш 1/5. Ідеальним у цьому сенсі є квадрат.

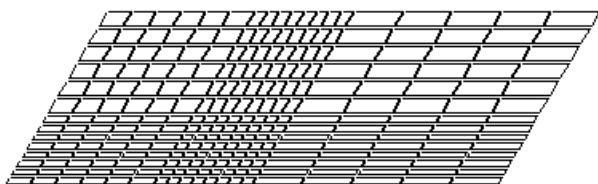


Рис. 1.43. Схема плити зі змінним кроком сітки уздовж осей X і Y

### ФОРМУВАННЯ ТРИКУТНОЇ СІТКИ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ПЛОЩИНІ



Автоматична триангуляція замкненої області довільної форми на площині є одним з найбільш універсальних засобів формування сіток скінченних елементів. У комплексі передбачена можливість використовувати триангуляцію як для створення нової схеми, так і для триангуляції фрагмента вже готової схеми. Розглянемо випадок створення нової схеми.

Перед тим, як виконати триангуляцію, необхідно ввести вузли, через які проходить контур, що обмежує область триангуляції й, якщо це необхідно, внутрішні контури, у яких триангуляція не виконується, наприклад, отворів. Для виконання цієї операції скористаємося кнопкою



**Введення вузлів** – і задамо вузли зовнішнього контуру з наступними координатами:

| № вузла | X    | Y    | Z   |
|---------|------|------|-----|
| 1       | 0.0  | 0.0  | 0.0 |
| 2       | 20.0 | 0.0  | 0.0 |
| 3       | 20.0 | 12.0 | 0.0 |
| 4       | 32.0 | 12.0 | 0.0 |
| 5       | 32.0 | 24.0 | 0.0 |
| 6       | 0.0  | 24.0 | 0.0 |

Аналогічно введемо вузли внутрішніх контурів:

|    |      |      |     |
|----|------|------|-----|
| 7  | 3.0  | 3.0  | 0.0 |
| 8  | 12.0 | 3.0  | 0.0 |
| 9  | 12.0 | 9.0  | 0.0 |
| 10 | 3.0  | 9.0  | 0.0 |
| 11 | 15.0 | 12.0 | 0.0 |
| 12 | 17.0 | 12.0 | 0.0 |
| 13 | 17.0 | 15.0 | 0.0 |
| 14 | 28.0 | 15.0 | 0.0 |
| 15 | 28.0 | 19.0 | 0.0 |
| 16 | 15.0 | 19.0 | 0.0 |

Положення й номери введених вузлів показано на рис. 1.44. Далі активізуємо в розділі **Схема** функцію **Формування трикутної сітки скінченних елементів** на площині. В результаті в інструментальній панелі стануть доступні кнопки керування режимом триангуляції, зображені на рис. 1.45.

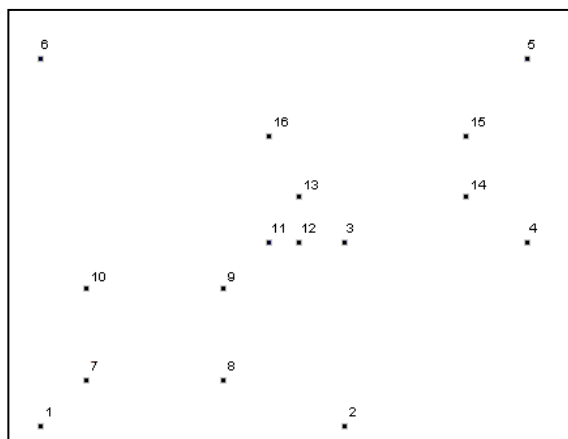




Рис. 1.44. Вузли, що обмежують зовнішній і внутрішні контури області триангуляції



Рис. 1.45. Кнопки керування режимом триангуляції



Для триангуляції заданої області необхідно виконати наступну послідовність операцій:

- натиснути кнопку **Задання контуру**  і обвести «гумовою ниткою» опорні вузли зовнішнього контуру (під «опорними» розуміються вузли, що лежать у кутових точках контуру);
- натиснути кнопку **Задання контуру** й обвести «гумовою ниткою» опорні вузли внутрішнього контуру;
- повторити попередню операцію для всіх внутрішніх контурів (рис. 1.46);
- натиснути кнопку **Генерація сітки скінченних елементів**  і встановити в діалогові вікні параметри триангуляції (рис. 1.47);
- після виходу з діалогового вікна натисканням кнопки **ОК** виконується розбивка заданої області на трикутні скінченні елементи (рис. 1.48).

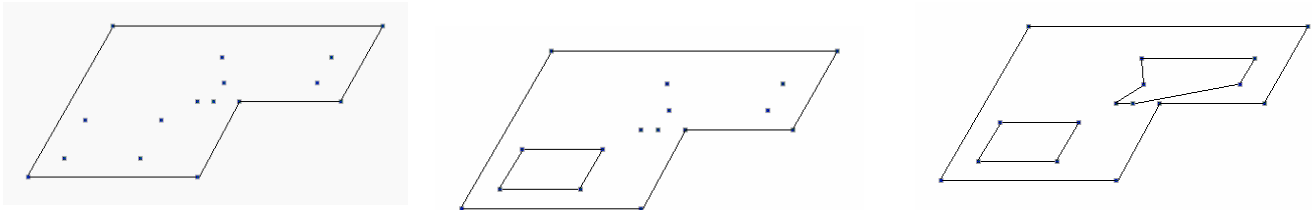


Рис. 1.46. Призначення контурів

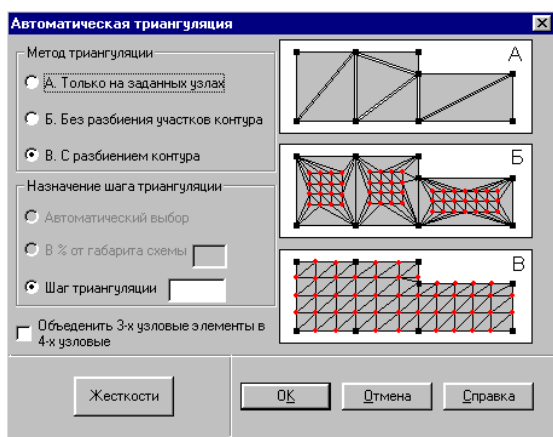


Рис. 1.47. Діалогове вікно Автоматична триангуляція

При введенні ділянки контуру можна не зупинятися на вузлах, які лежать на прямій, що з'єднує опорні вузли. Вони будуть уведені в контур автоматично.

Замикання контуру виконується подвійним клацанням миші після введення останнього вузла або вказівкою на перший вузол.

Не допускається наявність збіжних вузлів як опорних, так і проміжних (тут і далі під

співпадаючими будемо розуміти вузли, що мають однакові координати).

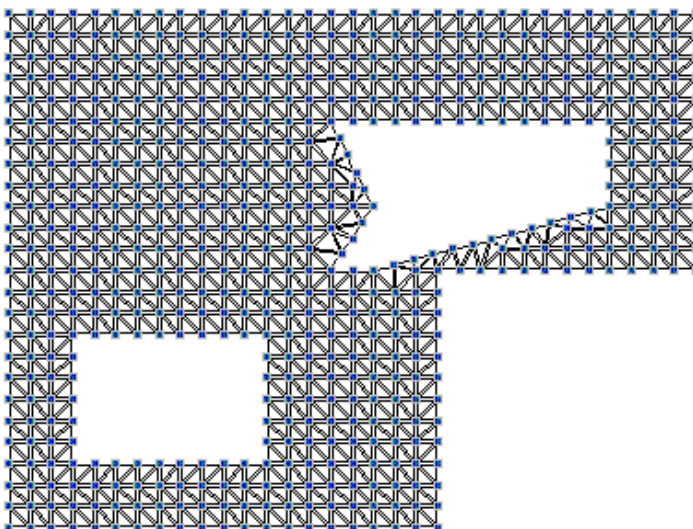



Рис. 1.48. Розрахункова схема, отримана в результаті виконання триангуляції

Уведений контур можна зберегти, натиснувши кнопку **Збереження контуру** . Якщо до моменту збереження задано декілька контурів, то всі вони зберігаються під одним іменем.

Як правило, зручніше зберігати кожний контур окремо. Для цього після введення й збереження контуру слід натиснути кнопку **Відмова** й тільки після цього вводити новий контур. Перед виконанням триангуляції необхідно натисканням кнопки **Відмова** очистити схему від усіх контурів, потім послідовно викликати контури зі списку, розташованого праворуч



від кнопки збереження, і активізувати операцію **Генерація сітки скінченних елементів**

Перед виконанням триангуляції у вікні **Автоматична триангуляція** (див. рис. 1.47) потрібно вибрати метод триангуляції. Тут також можна задати жорсткостні характеристики скінченних елементів (для цього використовується кнопка **Жорсткості**).

Відповідно до обраного методу триангуляція може бути виконана:

- тільки на заданих вузлах;
- з розбивкою області триангуляції із заданим кроком уздовж координатних осей, але без уведення додаткових вузлів на ділянках контуру, с розбивкою й контуру й області триангуляції відповідно до заданого кроку.

Якщо в діалогові вікні **Автоматична триангуляція** встановлено ознаку об'єднання тривузлових елементів у чотиривузлові, то в процесі формування схеми таке об'єднання буде виконано для всіх допустимих пар трикутників.

Схема, створена в результаті триангуляції, фактично є самостійною підсхемою, і після завершення триангуляції її потрібно «встановити на місце», тобто приєднати до вузлів, на яких



виконувалася триангуляція (кнопка **Установка сформованої схеми за місцем**).

Якщо підсхему передбачається приєднувати до інших фрагментів схеми, її можна зберегти



і як самостійну схему, скориставшись для цього кнопкою **Запис результатів триангуляції**. При цьому схема повинна бути записана під новим іменем, відмінним від імені основної схеми.

На відміну від створення нової схеми, триангуляція області, що належить уже існуючій розрахунковій схемі, виконується шляхом задавання контуру безпосередньо на вихідній схемі або її фрагменті. Після завершення триангуляції отримана схема може бути збережена як самостійна схема (кнопка **Запис результатів триангуляції**), встановлена за місцем в схемі (кнопка **Установка сформованої схеми за місцем**) або виконано обидві ці операції.

Остаточна фіксація результатів триангуляції виконується тільки після виходу з режиму триангуляції (віджата кнопка **Формування трикутної сітки скінченних елементів на площині**). У цьому випадку на екран виводиться результуюча розрахункова схема. Протягом одного "сеансу" можна виконати триангуляцію тільки однієї області, потім закрити режим триангуляції. Для триангуляції іншої області слід знову активізувати режим триангуляції.

## 1.4. Поверхні обертання



Розглянемо операції створення розрахункових схем або їх фрагментів, що моделюються за допомогою стандартних поверхонь обертання. У комплексі передбачена можливість створення схем у вигляді циліндра, конуса, сфери й тора. При цьому термін «поверхні» може здатися не зовсім точним, тому що схеми можна створювати й зі стержневих елементів, вузли яких лежать на цій поверхні.

Розглянемо діалогове вікно **Створення поверхні обертання**, у якому призначається вид поверхні й задаються її характеристики (рис. 1.49). Характеристики схеми містять: вид елементів (стержні, пластини), форму сітки елементів (для стержневих елементів – решітки), розміри й інші дані, необхідні для генерації поверхні.

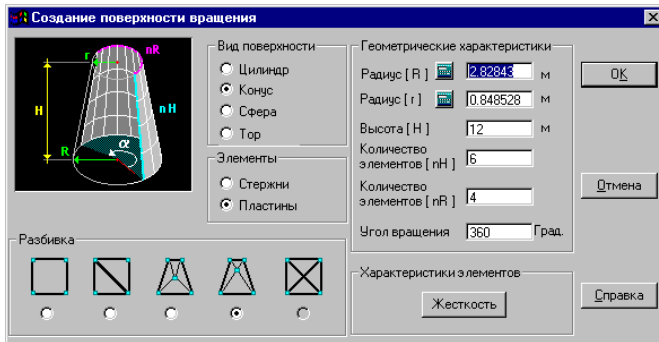


Рис. 1.49. Діалогове вікно **Створення поверхні обертання**

У процесі задавання параметрів схеми можуть бути призначені типи елементів і їх жорсткості. За замовчуванням для стержнів

прийнятий тип 5, а для пластин - 42 (трикутники) або 44 (чотирикутники).

Нижче наведені правила підготовки вихідних даних при формуванні різних схем поверхонь обертання.

При формуванні циліндра (рис. 1.50) задаються наступні параметри:

**R** – радіус циліндра;

**H** – висота циліндра;

**nH** – кількість елементів по висоті циліндра;

**nR** – те ж, в основі циліндра;

**Кут обертання ( $\alpha$ )** – центральний кут у градусах ( $0 < \alpha \leq 360$ ).

Якщо кут обертання менше  $360^\circ$ , то формується незамкнута поверхня (рис. 1.51). Для циліндрів може бути обрана будь-яка форма сітки (решітки) скінченних елементів.

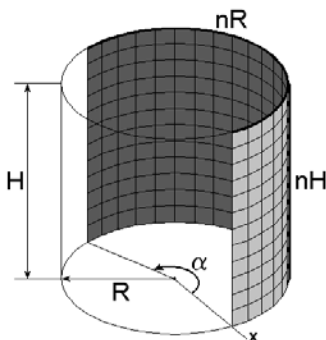


Рис. 1.50. Циліндр

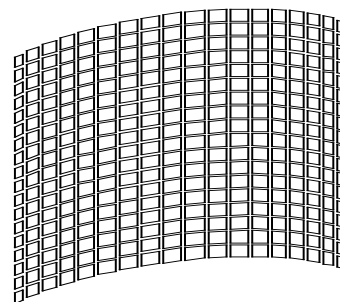


Рис. 1.51. Циліндр із центральним кутом  $120^\circ$

Конус (рис. 1.52) може бути повним або усіченим (рис. 1.53, 1.54). У випадку формування усіченого конуса  $r > 0$ .

При формуванні конуса задаються наступні параметри:

**R** – радіус основи конуса;

**r** – радіус вершини усіченого конуса;

**H** – висота конуса;

**nH** – кількість елементів по висоті конуса;

**nR** – те ж, в основі конуса;

**Кут повороту ( $\alpha$ )** – центральний кут у градусах ( $0 < \alpha \leq 360$ ).

Якщо кут обертання менше  $360^\circ$ , то формується незамкнута поверхня. Для конуса може бути обрана будь-яка форма сітки (решітки) скінченних елементів.

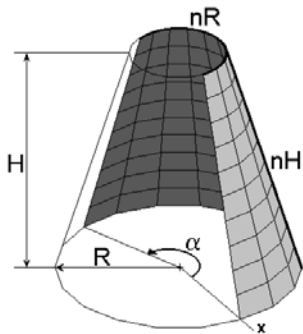


Рис. 1.52. Конус

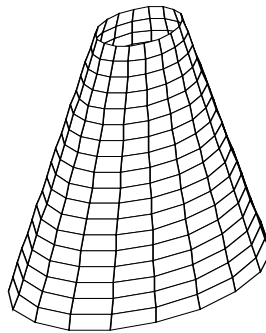


Рис. 1.53. Усічений конус ( $R > r$ )

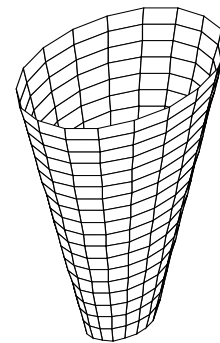


Рис. 1.54. Усічений конус ( $R < r$ )

При формуванні сфери (рис. 1.55-1.57) задаються наступні параметри:

**R** – радіус нижньої січної площини;

**r** – радіус верхньої січної площини;

**H** – відстань між верхньою й нижньою січними площинами;

**nH** – кількість елементів по висоті сфери;

**nR** – те ж, по екватору сфери;

**Кут повороту ( $\alpha$ )** – центральний кут у градусах ( $0 < \alpha \leq 360$ ).

Якщо кут обертання менше  $360^\circ$ , то формується незамкнута поверхня. Для формування повної сфери значення радіусів січних площин задаються рівними нулю, а висота H повинна рівнятися діаметру сфери. Для сфери може бути обрана будь-яка форма сітки (решітки) скінченних елементів.

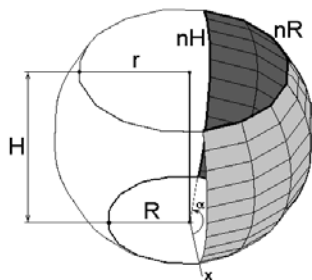


Рис. 1.55. Сфера

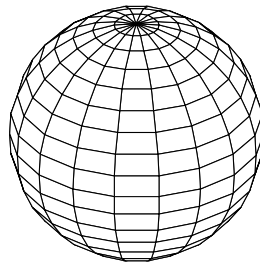


Рис. 1.56. Сфера ( $R = 0, r = 0, H$  – діаметр сфери)

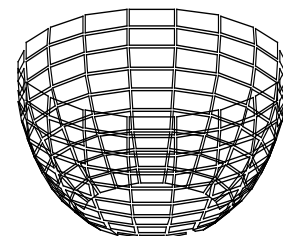


Рис. 1.57. Фрагмент сфери ( $R = 2, r = 4, H > 0$ )

При формуванні тора (рис. 1.58) задаються наступні дані:

**R** – радіус тора, вимірюваний від центра обертання до осі, що проходить через центр перерізу тора;

**r** – радіус перерізу;

**H** – крок спіралі;

**nr** – кількість елементів у перерізі тора;

**nR** – те ж, по довжині тора;

**Кут повороту ( $\alpha$ )** – центральний кут в градусах.

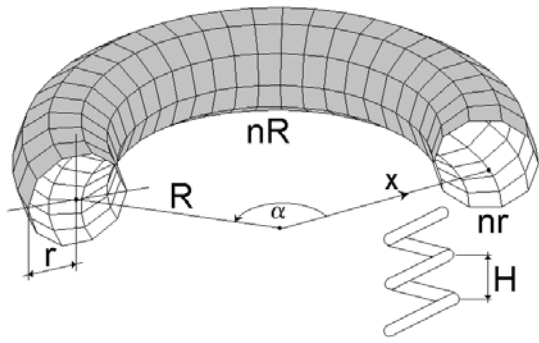


Рис. 1.58. Тор

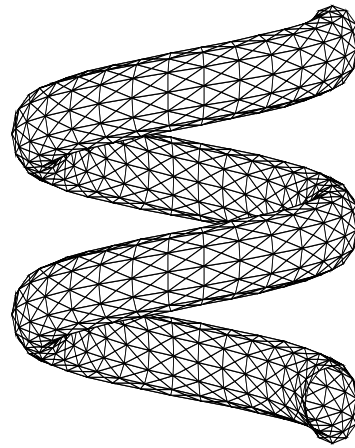


Рис. 1.59. Схема труби гвинтової форми ( $H > 0$ )

При  $\alpha > 360^\circ$  і  $H > 0$  формується спіраль (рис. 1.59). При формуванні спіралі із пластинчастих елементів існує обмеження на вибір форми сітки. У цьому випадку, наприклад, не можна використовувати чотиривузлові елементи, тому що можливий вихід вузлів із площини елемента. Блокування неприпустимих форм сітки виконується автоматично.

## 1.5. Формування поверхонь обертання, заданих аналітично



Для формування поверхонь обертання, заданих аналітично, можна скористатися спеціальною функцією **Створення поверхні обертання по заданій формулі**. Дані для виконання цієї функції вводяться в діалоговому вікні **Формування поверхні обертання** (рис. 1.60). Як і в попередньому випадку, схема може бути сформована як зі стержневих, так і з пластинчастих елементів. За допомогою цієї функції можуть бути сформовані замкнені, розімкнуті й спіралеподібні поверхні. Якщо поверхня замкнена, то слід активізувати опцію **Замкнена поверхня**.

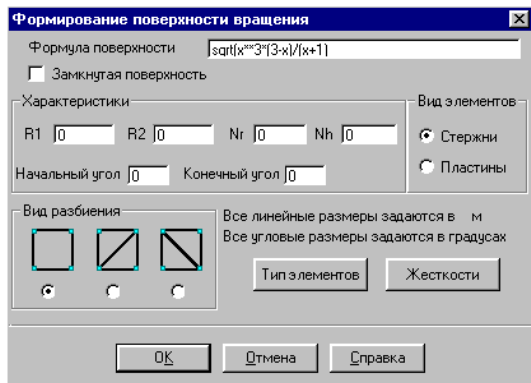


Рис. 1.60. Діалогове вікно **Формування поверхні обертання**

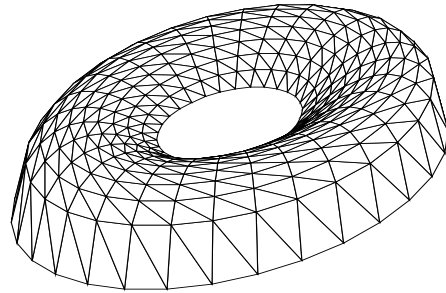


Рис. 1.61 Поверхня обертання, задана аналітично

Для формування замкненої поверхні слід задати наступні параметри:

**R1** – початковий радіус кола;

**R2** – кінцевий радіус кола;

**Nr** – кількість елементів по радіусу;

**Nh** – кількість елементів по висоті.

При цьому **R1** і **R2** розглядаються як радіуси кіл відповідно в нижній і верхній точках поверхні.

Існує обмеження по використанню сіток чотиривузлових елементів для схем із пластинчастих елементів, пов'язане з можливим виходом вузлів за площину елемента.

У процесі задавання параметрів схеми можуть бути призначені типи елементів і їх жорсткості. За замовчуванням для стержнів прийнятий тип 10, а для пластин - 42 (трикутники) або 44 (чотирикутники).

На рис. 1.61 наведено приклад замкненої поверхні, отриманої шляхом задавання залежності

$$z = \sqrt{(x^3 \cdot (3-x)) / (x+1)}, \text{ при активній опції } \mathbf{Замкнена\ поверхня} \text{ й наступних}$$

значеннях параметрів: **R1=1 м; R2=3 м; Nr=30; Nh=10.**

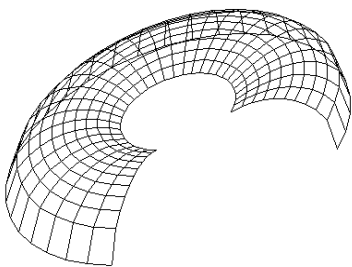


Рис. 1.62. Незамкнена поверхня обертання

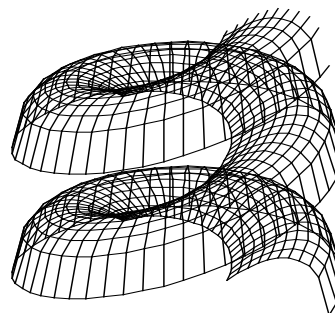


Рис. 1.63. Спіралеподібна поверхня обертання

Для отримання незамкнених поверхонь додатково слід задати значення початкового й кінцевого кутів дуги. Так, для початкового й кінцевого кутів 0 і 270° відповідно буде отримана поверхня, зображена на рис. 1.62 (у цьому випадку використана стержнева модель).

І, нарешті, для одержання спіралеподібної поверхні у формулу необхідно ввести другу змінну – Y, зміна якої описує процес "закручування" спіралі, як функції кута. Наприклад, доповнивши формулу другою змінною – y/100

$$z = \sqrt{(x^3 \cdot (3 - x)) / (x + 1) + y / 100}$$

при значеннях початкового й кінцевого кутів 0 і 720° відповідно, одержимо нову схему (рис. 1.63). Тут кількість елементів по радіусу nR = 100.

При введенні математичних формул слід дотримуватися наступних правил:

- найменування функцій вводити малими літерами латинського алфавіту;
- у якості роздільника дробової й цілої частин числа використовувати точку;
- у якості аргументів використовувати латинські букви x і y;
- арифметичні операції задавати символами +, -, \*, /, зведення в ступінь - \*\* (наприклад, x<sup>3</sup> буде записуватися x\*\*3).

При записі формул можна використовувати наступні функції:

**floor** – найменше ціле не перевищує задане;

**tan** – тангенс;

**sin** – синус;

**cos** – косинус;

**asin** – арксинус;

**acos** – арккосинус;

**atan** – арктангенс;

**exp** – експонента;

**ceil** – найменше ціле перевищує задане;

**tanh** – тангенс гіперболічний;

**sinh** – синус гіперболічний;

**cosh** – косинус гіперболічний;

**log** – натуральний логарифм;

**log10** – десятковий логарифм;

**abs** – абсолютне значення;

**sqrt** – корінь квадратний.

## 1.6. Формування поверхонь, заданих аналітично

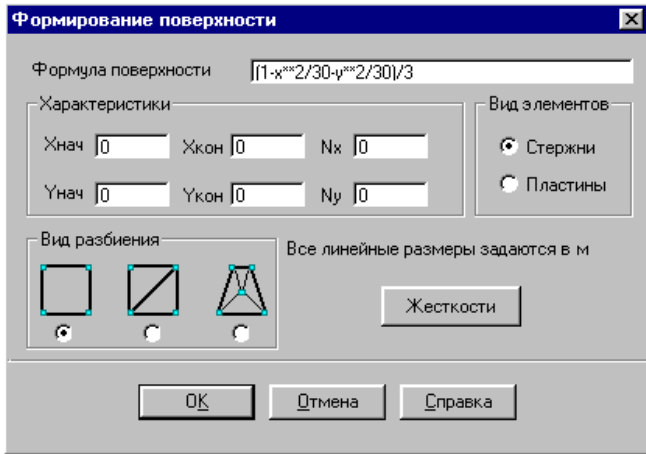


Рис. 1.64. Діалогове вікно **Формування поверхні**



Аналітично задані поверхні формуються табулюванням функції двох змінних  $z = f(x, y)$  з заданими інтервалом і кроком для кожної змінної. Дані для виконання цієї функції вводяться в діалоговому вікні **Формування поверхні** (рис. 1.64). Схема може бути сформована як із стержневих, так і з пластинчастих елементів. Для виконання функції необхідно

ввести формулу поверхні і задати такі характеристики:

- Xпоч** – початкове значення X;
- Xкін** – кінцеве значення X;
- Nx** – кількість елементів за напрямком X;
- Yпоч** – початкове значення Y;
- Yкін** – кінцеве значення Y;
- Ny** – кількість елементів за напрямком Y.

В процесі задавання параметрів схеми можуть бути призначені типи елементів та їх жорсткості. Стандартно для стержнів прийнято тип 10, а для пластин – 42 (трикутники) або 44 (чотирикутники).

В якості прикладу сформуємо оболонку, задану залежністю:  $z = (1 - x^2/30 - y^2/30)/3$  при наступних значеннях характеристик: Xпоч=-30м; Xкін=30м; Nx=15; Yпоч=-30 м; Yкін=30 м; Ny=15. Отримана в результаті розрахункова схема оболонки зображена на рис. 1.65

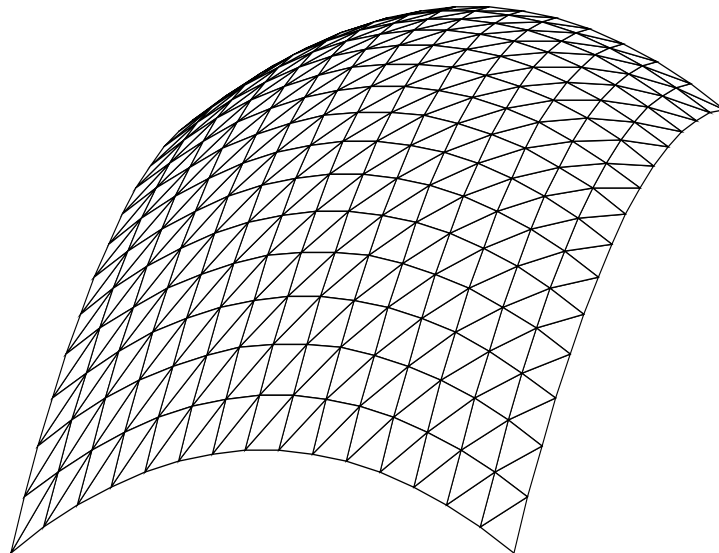


Рис. 1.65. Розрахункова схема оболонки



## 1.7. Збирання схеми з декількох схем




Часто при формуванні розрахункової схеми виникає необхідність її збирання з декількох заздалегідь приготовлених схем або груп елементів. При цьому схеми, що використовуються при складанні, можуть включати не тільки геометричні характеристики, але і зв'язки, жорсткості, навантаження і т.п. Виконуючи збирання, слід мати на увазі – схеми, що беруть участь в збиранні, повинні бути сформовані з однаковими одиницями вимірювання всіх величин. Для зручності схему, до якої приєднуються інші схеми, будемо називати основною, а приєднувані схеми або групи – підсхеми. При цьому в якості основної схеми може бути використаний навіть один вузол, а в якості підсхеми – будь-яка інша схема, в тому числі і основна, а також група елементів. Після виконання збирання складена схема буде вже основною.

Рекомендується наступний порядок складання схем:

- відкрити готовий проект с основною схемою або сформувати її в режимі **Новий проект**;
- в розділі **Схема** натиснути кнопку , в результаті чого в інструментальній панелі з'явиться група кнопок операції збирання (рис. 1.66), а в робочому полі з'явиться вікно для завантаження підсхеми;



Рис. 1.66. Кнопки керування режимом збирання

- натиснути кнопку завантаження підсхеми ;
- у вікні **Відкриття проекту SCAD** (рис. 1.67) вибрати ім'я файлу проекту підсхеми і натиснути кнопку **Відкрити (Open)**, в результаті чого підсхема буде завантажена у вікно підсхеми (рис. 1.68);

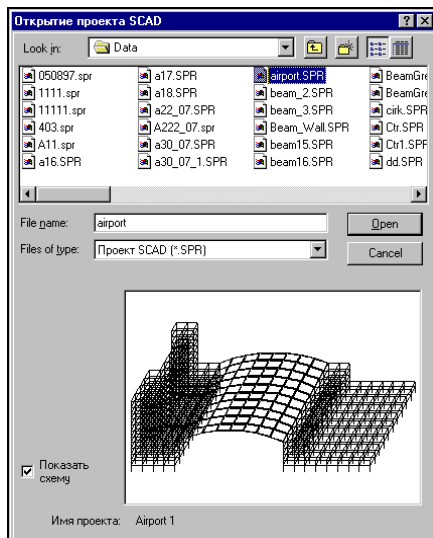


Рис. 1.67. Діалогове вікно **Відкриття проекту SCAD**

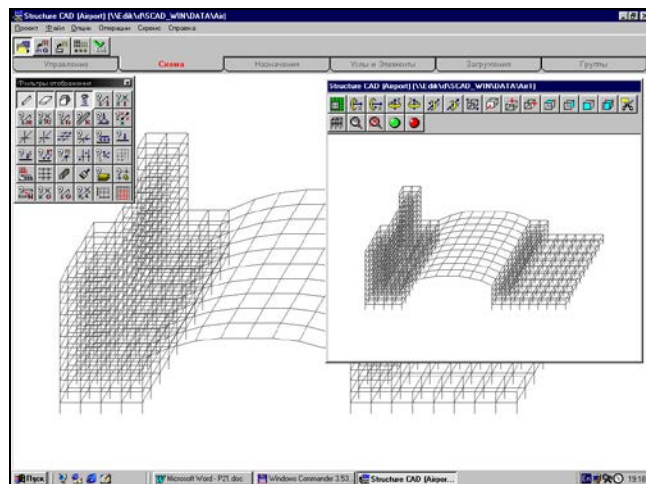



Рис. 1.68. Загальний вигляд головного вікна і вікна підсхеми в режимі зборки

- натиснути кнопку вибору способу збирання ;
- у діалоговому вікні **Зборка схеми** (рис. 1.69) призначити спосіб і правила збирання та натиснути кнопку **ОК**;

- в залежності від обраного способу збирання вибрати на схемі і підсхемі один, два або три вузли стикування і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі;
- після виконання збирання на екран виводиться результуюча схема і діалогове вікно **Результат**, в якому пропонується вибрати варіант продовження роботи (рис. 1.70).

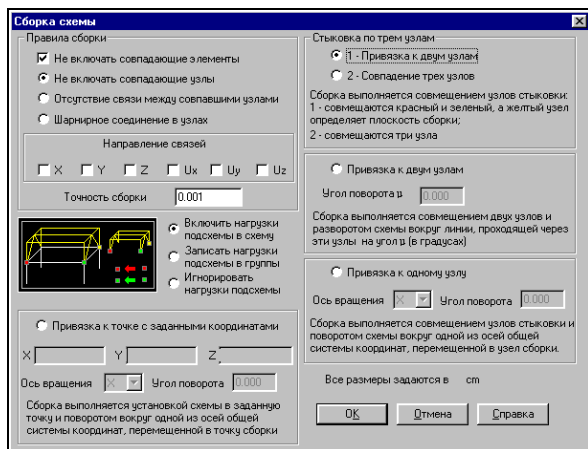


Рис. 1.69. Діалогове вікно **Зборка схеми**

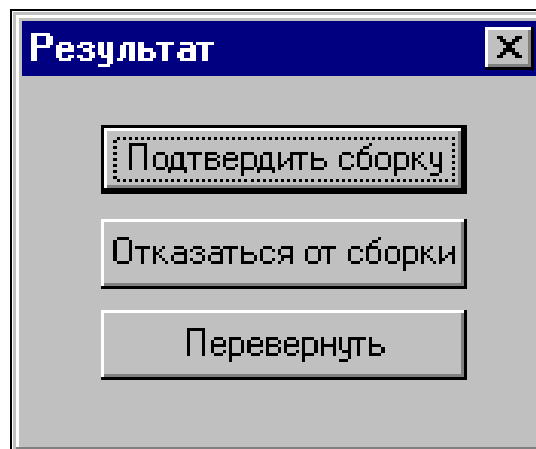


Рис. 1.70. Діалогове вікно **Результат**

Перший варіант – **Підтвердити збирання**. Відповідно до встановлених правил складання буде утворена нова основна схема як результат об'єднання основної схеми і підсхеми.

Другий варіант – **Відмовитися від збирання**. У результаті основна схема залишиться в тому ж стані, що і до збирання.

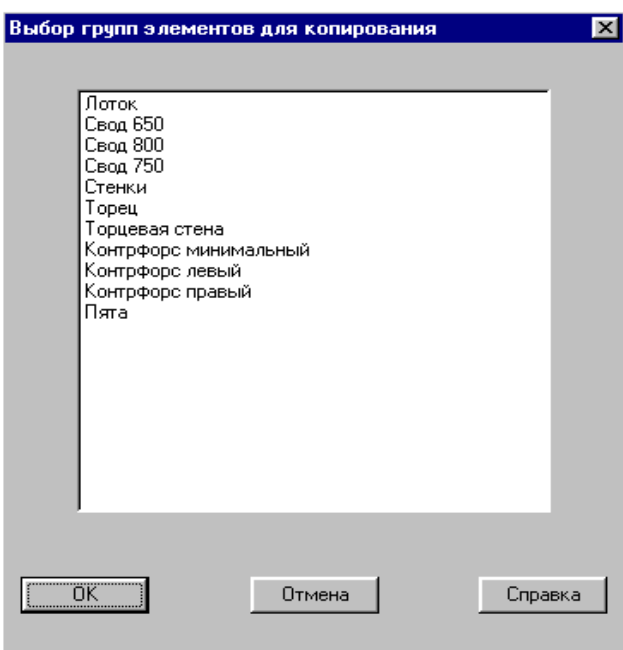
Третій варіант – **Перевернути**. Підсхема займе нове положення щодо вузла/вузлів стикування, яке утворюється поворотом на 180° навколо вузлів стикування або заданої раніше осі обертання (при складанні з одним вузлом стикування).

### ЗБИРАННЯ З ГРУПАМИ ЕЛЕМЕНТІВ



В якості підсхем можуть використовуватися і групи елементів. Збирання з групами елементів виконується за тими ж правилами, що і складання схем зі схем. Вибір груп виконується в діалоговому вікні **Вибір груп елементів** (рис. 1.71). На відміну від складання зі схем у збиранні з групами елементів можуть одночасно брати участь кілька груп, вибраних у списку.

### СПОСОБИ ЗБИРАННЯ



**Стиковка за трьома вузлами** – здійснюється двома способами. При першому прив'язка підсхеми виконується до двох вузлів – червоного і зеленого, а жовтий вузол визначає площину (напрямок) збирання. У цьому випадку схема може займати два положення щодо вузлів прив'язки, тому після виконання складання корисною може виявитися операція **Перевернути**, описана вище. За другим способом прив'язка підсхеми виконується до трьох вузлів і її положення визначено однозначно.

Рис. 1.71. Діалогове вікно **Вибір груп елементів**

**Стиковка за двома вузлами** здійснюється поєднанням одноколірних вузлів стикування на

схемі й підсхемі. Очевидно, що в цьому випадку підсхема може займати будь-яке положення щодо вузлів стикування і для того, щоб визначити його однозначно, необхідно задати кут повороту підсхеми навколо осі, що проходить через ці вузли.

**Стиковка за одним вузлом** здійснюється поєднанням вузлів стикування на схемі і підсхемі з одночасним розворотом підсхеми на заданий кут навколо зазначеної осі, що проходить через вузол стикування.

**Прив'язка до точки з заданими координатами** здійснюється при стикуванні за одним вузлом. Роль вузла в основній схемі виконує точка із заданими координатами, до якої приєднується вибраний вузол підсхеми.

### Правила виконання збирання

Збирання може виконуватися за різними правилами і з заданою точністю суміщення вузлів. Точність поєднання задається в частках від встановлених одиниць виміру лінійних розмірів і визначає, які вузли вважати співпадаючими. Якщо після виконання збирання відстань між вузлом схеми і вузлом підсхеми менше або дорівнює встановленому значенню точності, то в режимі об'єднання збіжних вузлів такі вузли поєднуються в один вузол.

При активній опції **Не включати співпадаючі елементи** у діалоговому вікні **Зборка схеми** (рис. 1.69) з двох спільних елементів основної схеми і підсхеми (елементи вважаються спільними, якщо збігаються всі їхні вузли) в результуючій схемі залишається елемент основної схеми. У цього елемента всі характеристики, включаючи навантаження, будуть такими ж, як у елемента основної схеми. Якщо ця опція не активна, то в результуючій схемі будуть присутні одночасно всі елементи схеми і підсхеми.

При активній опції **Об'єднання збіжних вузлів** з результуючої схеми видаляються всі вузли підсхеми, які збіглися з вузлами основної схеми. Зв'язки і навантаження, прикладені в вузлах, будуть відповідати заданим в основній схемі.

При активній опції **Відсутність зв'язку між співпадаючими вузлами** в результуючій схемі будуть присутні всі вузли обох схем без будь-якого зв'язку між ними.

При активній опції **Шарнірне з'єднання вузлів** між спільними вузлами будуть встановлені шарніри за напрямками, на які не накладено в'язі. У результаті за напрямками зв'язків задається об'єднання переміщень між вузлом схеми і підсхеми. Зв'язки задаються за допомогою маркерів у групі **Напрямок в'язей**.

### РОБОТА З НАВАНТАЖЕННЯМИ

Якщо в збиранні беруть участь схеми, до яких були включені навантаження, то при призначенні правил виконання складання слід вказати, що робити з навантаженнями. Пропонується три способи врахування навантажень підсхем:

- включення навантажень, прикладених до підсхеми, у відповідні завантаження основної схеми:

- запис кожного завантаження підсхем у вигляді групи навантажень;
- ігнорування навантажень підсхем.

Навантаження, прикладені до основної схеми, залишаються завжди. Якщо одна або декілька підсхем мають більшу завантаженість, ніж основна схема, то ці завантаження додаються до раніше призначених завантажень основної схеми.

При перенесенні навантажень з підсхеми в результуючу схему слід враховувати, що операції об'єднання спільних вузлів та елементів (вони виконуються, якщо включені відповідні маркери в діалоговому вікні **Збирання схеми**) мають пріоритет і виконуються раніше операцій перенесення навантажень. Отже, якщо навантаження в підсхемі задані у вузлах, що збігаються з вузлами основної схеми, то після видалення вузлів підсхеми будуть видалені і навантаження. Це ж відноситься і до елементів. У тих випадках, коли навантаження повинні бути враховані, слід при призначенні правил складання відключити опції об'єднання збіжних об'єктів, виконати складання, а потім видалити збіжні вузли і елементи, скориставшись для цього відповідними режимами в розділі **Вузли та Елементи** інструментальної панелі.

Якщо до вузлів або елементів основної схеми, що збігаються з об'єктами підсхеми, не включені навантаження, то проблему перенесення навантажень можна вирішити, змінивши статус схем при складанні, тобто прийняти за основну схему підсхему і навпаки.

Після виконання збирання в результуючій схемі динамічні завантаження не зберігаються і повинні бути задані знову.

### **ВІКНО ПІДСХЕМИ**

Вікно підсхеми може мати будь-які розміри і займати будь-яке положення на екрані. Часто для зручності складання доводиться працювати з фрагментами підсхеми або змінювати її положення в просторі. Для цього у вікні підсхеми передбачена інструментальна панель (рис. 1.72), що включає ті ж функції, що і панель **Візуалізація** основного вікна.

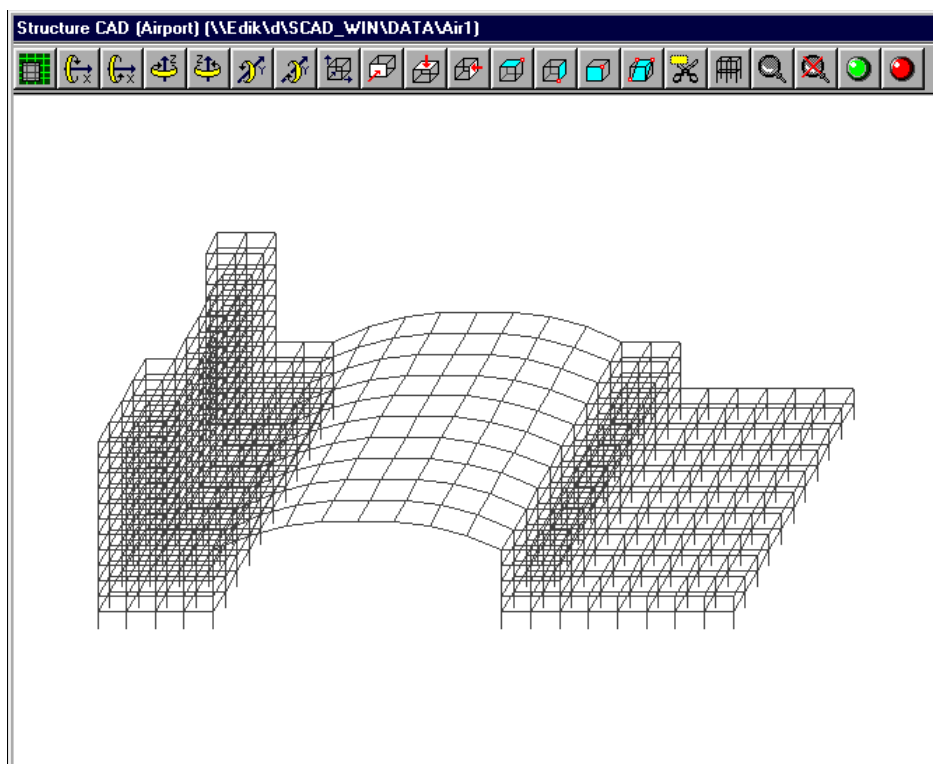


Рис. 1.72. Вікно підсхеми

## 1.8. Копіювання розрахункової схеми



Розглянемо ще один досить ефективний спосіб створення розрахункової схеми, дія якого заснована на копіюванні з заданими кроком і напрямком схеми-прототипу (рис. 1.73). Копіюватися може як готова схема, тобто з введеними жорсткостними характеристиками, шарнірами, в'язями, навантаженнями тощо, так і схема, для якої задана тільки частина характеристик.

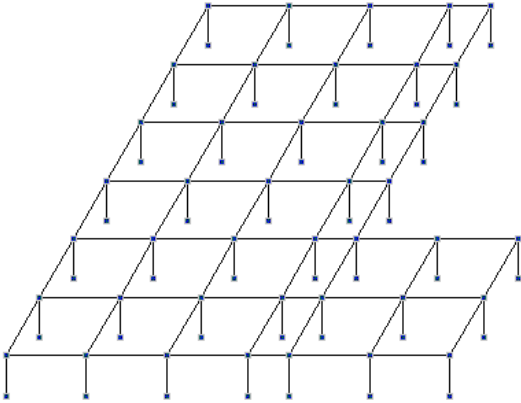


Рис. 1.73. Схема-прототип

Виклик режиму копіювання виконується кнопкою



з розділу **Схема**. Копіювання може виконуватися за різними правилами.

У найпростішому випадку схема просто повторюється задану кількість разів. У процесі повторень виконується контроль збігу вузлів та елементів і, якщо був встановлений маркер

виключення збіжних об'єктів, то вони видаляються з результуючої схеми.

При копіюванні схеми з обраними (відзначеними) вузлами та елементами:

- якщо в схемі-прототипі були обрані вузли, з кожного такого вузла породжується стержневий елемент, що з'єднує його з вузлом-аналогом на копії;
- якщо в схемі-прототипі були обрані стержневі елементи, кожен вибраний стрижень буде породжувати пластинчастий елемент (тривузловий - тип 42 або чотиривузловий - тип 44), розмір якого в напрямку копіювання буде дорівнює заданому кроку копіювання;
- якщо в схемі-прототипі були обрані пластинчасті елементи, кожен вибраний елемент буде породжувати об'ємний елемент (тип 36, 33 або 34), розмір якого в напрямку копіювання буде дорівнює заданому кроку копіювання.

Копіювання буде виконуватися і для будь-якої комбінації обраних об'єктів.

Управління режимом копіювання виконується в діалоговому вікні **Копіювання схеми** (рис. 1.74), в якому встановлюється напрямок копіювання – по прямій вздовж осей загальної системи координат або по дузі кола навколо заданої осі (вісь обертання проходить через початок загальної системи координат). В обох випадках задаються кроки повторень прототипу і кількість повторень для кожного кроку, а також призначаються правила "обслуговування" копії.

При копіюванні по дузі в якості кроку вводиться центральний кут в градусах.

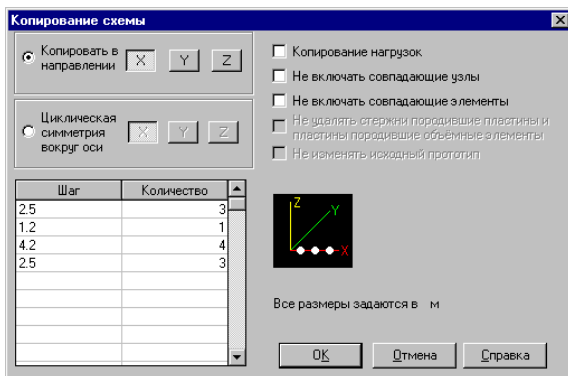


Рис. 1.74. Діалогове вікно **Копіювання схеми**

### КОПІЮВАННЯ ФРАГМЕНТА СХЕМИ



Крім копіювання повної схеми можливо і копіювання фрагмента. В якості фрагмента розглядається будь-яка частина схеми, всі елементи якої обрані. При копіюванні фрагмента не виконується породження стержнів з обраних вузлів, пластин – з вибраних стержнів і об'ємних елементів – з вибраних пластин. У діалоговому вікні задаються кроки повторень обраного фрагмента і кількість повторень для кожного кроку, а також призначаються правила "обслуговування" копії. При копіюванні по дузі за крок приймається центральний кут в градусах.

## 1.9. Геометричні перетворення

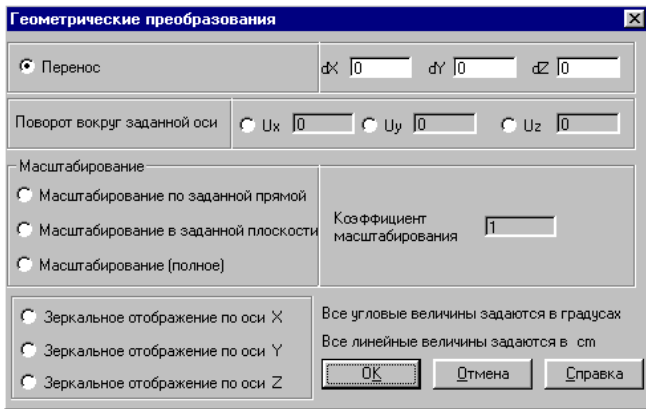


Рис. 1.75. Діалогове вікно  
Геометричні перетворення



Режим геометричних перетворень включає функції, які виконують модифікацію геометрії розрахункової схеми або її фрагмента. До них відносяться функції переносу координат вузлів, розвороту навколо заданої осі, масштабування, дзеркального відображення та ін.

Кнопка виклику цього режиму

розташована в розділі **Схема**  інструментальної панелі й натискання її відкриває діалогове вікно **Геометричні перетворення**  (рис. 1.75).

Якщо режим перетворення відноситься до всієї схеми, то він буде виконаний після натискання кнопки **ОК** діалогового вікна. При перетворенні фрагмента (групи вузлів) слід спочатку вибрати фрагмент, а потім призначити і виконати необхідну функцію.

### **ПЕРЕНЕСЕННЯ**

За допомогою цієї функції виконується перенесення вузлів разом з пов'язаними елементами на задану відстань від початкового положення. Якщо на схемі жодного вузла не вибрано, то перенесення буде реалізовано для всієї схеми. У тих випадках, коли на схемі вибрана група вузлів, будуть перенесені тільки вузли групи. Для виконання функції активізуємо опцію **Перенесення**, введемо збільшення координат і підтвердимо призначення натисканням кнопки **ОК** у діалоговому вікні.

### **ПОВОРОТ НАВКОЛО ЗАДАНОЇ ОСІ**

За допомогою цієї функції виконується поворот схеми або групи вузлів (разом з пов'язаними з ними елементами) на заданий кут навколо зазначеної осі. Порядок виконання традиційний – активізуємо опцію з іменем потрібної осі, вводимо кут і натискаємо кнопку **ОК**. Для того щоб отримати коректний результат, необхідно контролювати положення початку загальної системи координат, навколо осей якої виконується поворот. Нагадаємо, що початок системи координат може займати будь-яке місце у схемі і навіть поза неї, а перенесення в потрібний вузол виконується функцією **Перенесення початку системи координат в заданий вузол** у розділі **Вузли та Елементи** (якщо вузла немає, його можна створити).

Незважаючи на уявну простоту, у цієї функції є багато «підводних каменів». При виконанні повороту групи необхідно стежити за тим, щоб не виникало пересічення елементів, що повертаються з нерухомою частиною схеми, для пластинчастих елементів можлива зміна форми і втрата площинності, а неправильне призначення точки початку координат може призвести до несподіваного результату.

### **МАСШТАБУВАННЯ УЗДОВЖ ЗАДАНОЇ ПРЯМОЇ**

Ця функція використовується для зміни розмірів розрахункової схеми або її фрагмента, заданого групою вузлів, уздовж зазначеного напрямку. Напрямок масштабування визначається прямою, що проходить через два вузли. Для виконання активізуємо у діалоговому вікні потрібну опцію, вводимо коефіцієнт масштабування (позитивне число) і натиснемо кнопку **ОК**. Виберемо курсором перший вузол прямої, що визначає напрямок масштабування, і протягнемо гумову нитку до другого вузла. Масштабування буде виконано після фіксації другого вузла. При призначенні прямої не обов'язково щоб вузли, які її визначають належали групі, для якої виконується масштабування. Зазначена пряма визначає тільки напрямок.

Не забудьте проконтролювати результати виконання функції. Тут можливі ті ж порушення форми елементів і їх перерізу, що і в попередньому випадку.

### ***МАСШТАБУВАННЯ В ЗАДАНІЙ ПЛОЩИНІ***

Робота з цією функцією аналогічна попередній. Масштабування виконується для всієї схеми або вибраної групи вузлів у площинах, паралельних заданій площині. Рекомендується наступний порядок виконання операцій.

Для всієї схеми:

- активізувати в діалоговому вікні опцію масштабування в заданій площині;
- ввести коефіцієнт масштабування;
- натиснути кнопку **ОК**;
- вибрати на схемі три вузла, що лежать у площині масштабування.

Після вибору третього вузла масштабування виконується автоматично.

Для групи вузлів:

- вибрати на схемі вузли, для яких виконується масштабування;
- викликати режим геометричних перетворень;
- активізувати в діалоговому вікні опцію масштабування в заданій площині;
- ввести коефіцієнт масштабування;
- натиснути на кнопку **ОК**;
- вибрати на схемі три вузли, що лежать у площині масштабування або паралельній їй площині.

Після відмітки третього вузла масштабування відбувається автоматично.

### ***МАСШТАБУВАННЯ (ПОВНЕ)***

Тут виконується масштабування схеми або її частини, вибраної як група вузлів, за всіма напрямками уздовж осей загальної системи координат у відповідності із заданим коефіцієнтом масштабування.

Масштабування буде виконано автоматично після натиснення кнопки **ОК** в діалоговому вікні.

### ***ДЗЕРКАЛЬНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ЗА НАПРЯМКОМ ЗАДАНОЇ ОСІ***

Ці функції виконують дзеркальне відображення всієї схеми або її частини, зазначеної як група вузлів, дзеркально уздовж вибраної осі. Як і в попередніх випадках, є небезпека, пов'язана з можливою зміною напрямку місцевих осей елементів.

Кожний раз, коли доводиться звертатися до функцій геометричних перетворень, будьте гранично уважні. Якщо немає повної впевненості в правильності обраного способу перетворення, краще зберегти поточний стан проекту. Краще (у разі невдачі) втратити трохи часу на завантаження проекту, ніж почати всю роботу спочатку. Зверніть увагу, що в діалоговому вікні **Геометричні перетворення** всі останні значення кутів, коефіцієнтів масштабування тощо, зберігаються. Це дозволяє "повернути" назад невдалу операцію, задавши, наприклад, для кутів повороту, той же кут, але з протилежним знаком.

## 1.10. Задавання сітки координаційних осей

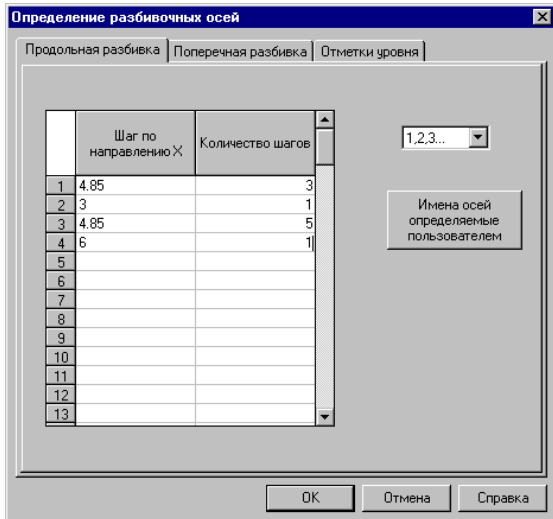


Рис. 1.76. Діалогове вікно  
Задавання координаційних осей



Часто розрахункову схему зручно формувати, ґрунтуючись на заданій сітці координаційних осей. Для опису сітки використовується діалогове вікно **Задавання координаційних осей** (рис. 1.76). Вікно містить три сторінки, на яких задаються дані для поздовжньої (уздовж напрямку вісі Y) і поперечної (вздовж напрямку вісі X) розбивки осей, а також відмітки рівнів. На першій і другій сторінках знаходяться списки, що визначають правила маркування координаційних осей, а також кнопка для введення імен осей в тих випадках, коли вони

відрізняються від прийнятих за замовчуванням. На сторінці задавання відміток рівнів необхідно ввести значення позначки нижнього (першого) рівня, яке за замовчуванням приймається рівним 0.0. Сітка може бути тільки ортогональною і паралельною осям основної системи координат (рис. 1.77).

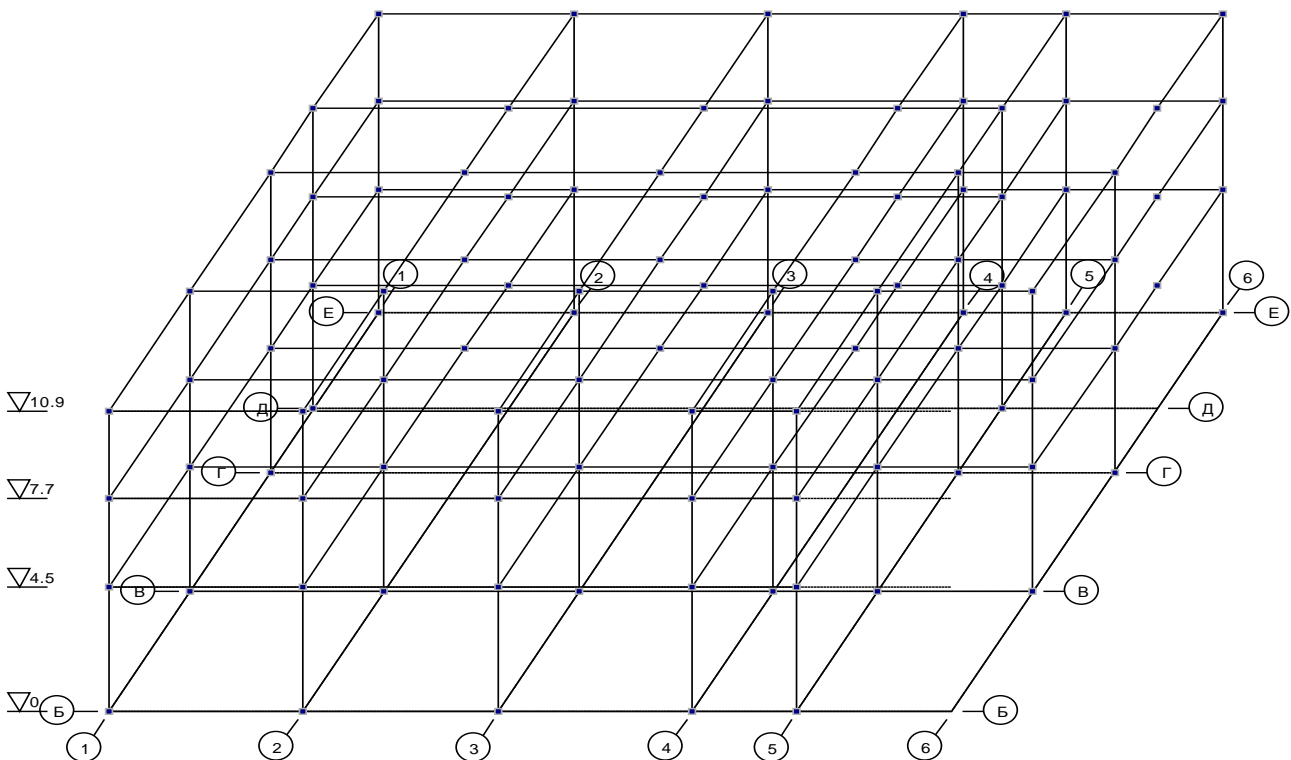



Рис. 1.77. Фрагмент розрахункової схеми з координаційними осями.

Інформація про координаційні вісі може неодноразово коригуватися. І якщо при першому введенні дані в таблицях задаються з урахуванням повторювачів, то при повторному зверненні вони розгортаються, і кожен крок займає окремий рядок.

Для виведення осей використовується фільтр  – **Відображення координаційних осей.**



Зміна імен координатних осей виконується в діалоговому вікні **Імена розмічальних осей** (рис. 1.78), яке викликається натисканням кнопки **Імена осей, визначуваних користувачем**. У стовпці **Імена осей** таблиці для кожного значення прив'язки осей вводяться нові імена, які можуть містити до трьох символів.

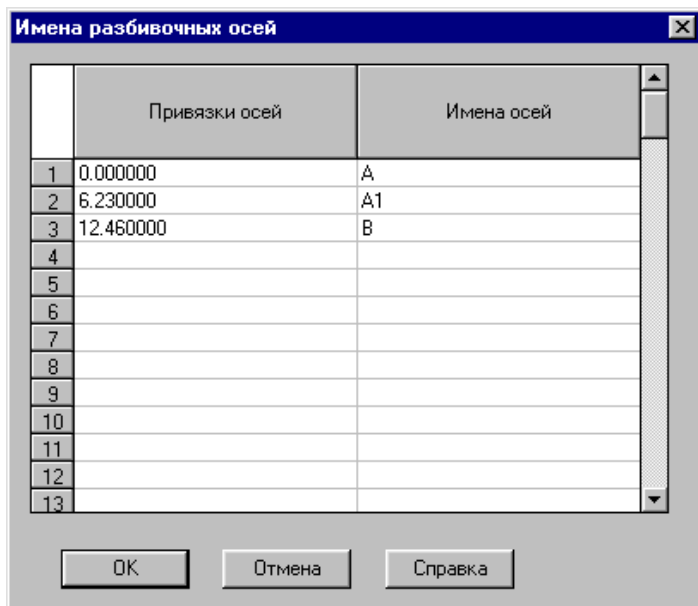


Рис. 1.78. Діалогове вікно **Імена розмічальних осей**

## 1.11. Введення схеми на сітці координаційних осей

Сітку координаційних осей та відмітки рівнів можна використовувати при задаванні геометрії розрахункової схеми. Для цього необхідно прив'язати до сітки вузли. Функція



генерації вузлів розташована в групі **Вузли** розділу **Вузли** та **Елементи** інструментальної панелі і дозволяє ввести вузли на перетині осей в заданій області сітки. При цьому відмітки рівнів розглядаються як вертикальні координати осей. Додані вузли можуть використовуватися для всіх передбачених у комплексі операцій введення та призначення. Вони є основою для побудови області триангуляції, введення стержневих, пластинчатих і об'ємних елементів, визначають крок копіювання фрагмента схеми, беруть участь в операціях геометричних перетворювань і збирання (рис. 1.79).

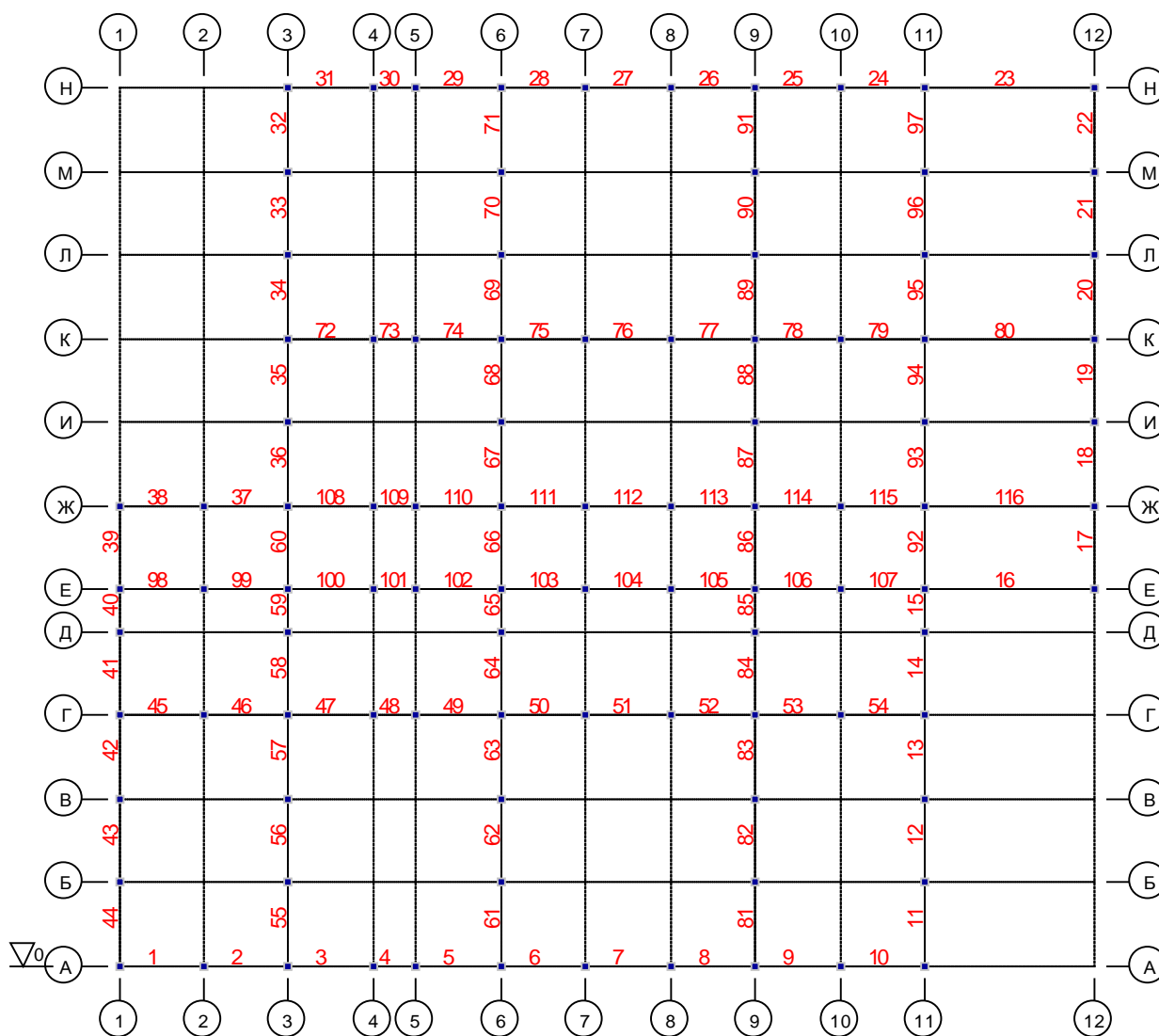


Рис. 1.79. Стержневі елементи, введені на сітці координаційних осей.

## 1.12. Формування розрахункових схем з об'ємних елементів

Функція копіювання може використовуватися і для формування розрахункових схем з об'ємних елементів. У цьому випадку прототипом є схема з пластинчастих елементів. Для утворення об'ємних елементів використовується правило: зазначена на прототипі пластина породжує об'ємний елемент. При цьому, якщо на прототипі обрані вузли, стержні і пластини, то буде створена комбінована схема із стержневих, пластинчатих і об'ємних елементів.

В якості прикладу розглянемо формування розрахункової схеми з об'ємних елементів на основі прототипу, наведеного на рис. 1.80 (прототип отриманий шляхом автоматичної триангуляції заданої області, що лежить в площині  $XoY$ ).

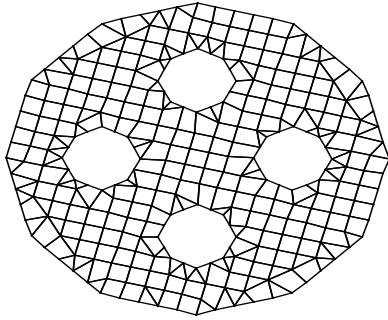


Рис. 1.80. Розрахункова схема з пластинчастих елементів, яка використовується як прототип

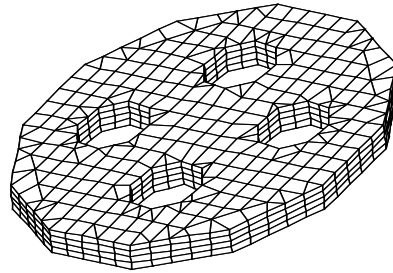


Рис. 1.81. Розрахункова схема з об'ємних елементів


Виберемо всі елементи прототипу і активізуємо функцію копіювання в розділі **Схема** –



У діалоговому вікні **Копіювання схеми** встановимо напрямок копіювання –  $Z$ , кількість повторень прототипу і крок. Після натискання кнопки **ОК** буде сформована розрахункова схема, наведена на рис. 1.81.

### 1.13. Операції з вузлами і елементами

Після формування геометрії розрахункової схеми за допомогою описаних вище функцій часто виникає необхідність її коригування. Для цього в комплексі передбачений ряд функцій для роботи з вузлами і елементами, які включають різні операції введення, видалення, відновлення, дублювання, перенесення тощо. Всі ці функції зосереджені в розділі інструментальної панелі **Вузли і Елементи**.

Будь-яка встановлена операція з вузлами і елементами буде активна до тих пір, поки ми не призначимо іншу операцію або не відмінимо її натисненням кнопки .

При цьому функції роботи з фільтрами або функції управління візуалізацією не відмінюють встановлену операцію, а виконуються на її фоні.

#### ВИБІР ВУЗЛІВ І ЕЛЕМЕНТІВ

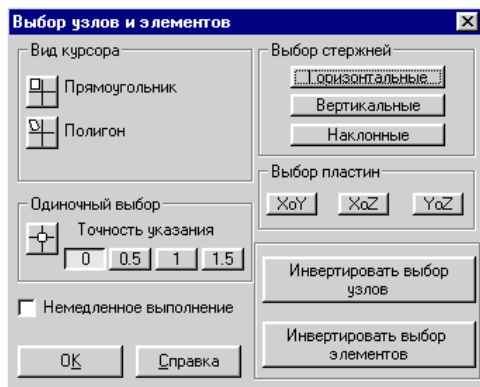




Рис. 1.82. Діалогове вікно **Вибір вузлів і елементів**

У графічному середовищі SCAD незалежно від режиму роботи дотримуються єдиних правил вибору вузлів і елементів для виконання операцій. Вони визначаються виглядом використовуваного курсору і призначаються в діалоговому вікні. **Вибір вузлів і елементів** (рис. 1.82), яке викликається натисненням правої кнопки миші в робочому полі.

Для вибору декількох вузлів або елементів використовуються курсори-рамки. Вибір одного об'єкту виконується курсором з мішенню. Точність позиціонування цього курсору на вузол або елемент призначається в долях від розміру мішені – 0 (точне указування), 0.5, 1 і 1.5 (мішень відповідно збільшується на 50, 100 і 150% від початкового розміру). Для активізації потрібного курсору слід натискувати кнопку з його зображенням у вікні **Вибір вузлів і елементів** або відповідну кнопку в лівій частині рядка стану вікна SCAD. Разом з кнопками вибору курсору в стрічці стану розташовані кнопки, за

допомогою яких призначається вид вибраних об'єктів – елементи  або вузли .

За допомогою курсорів-рамок можна вибирати (маркувати) об'єкти, вкладаючи їх в прямокутну або в довільного контуру замкнуту область (полігон). Вузли вважаються вибраними, якщо вони попали в область усередині рамки. Для вибору елементів необхідно, щоб всі їх вузли попали в область рамки.

При роботі з елементами можна призначити правила вибору. Це виконується двома групами кнопок-фільтрів. Кнопками першої групи (**Вибір стержнів**) встановлюється спосіб відбору стержнів залежно від їх положення в просторі (вертикальні, горизонтальні, похилі). Можна встановити будь-яку комбінацію цих кнопок. Кнопки другої групи дозволяють призначити правила вибору за приналежністю пластинчатих елементів координатним площинам загальної системи координат. Тут теж допускається будь-яка комбінація. При відключеному стані фільтрів вибиратимуться всі об'єкти.

#### 1.13.1 Операції з вузлами

Розглянемо операції з вузлами розрахункової схеми. Управління ними зосереджене в розділі **Вузли і Елементи** інструментальної панелі і активізується натисненням кнопки **Вузли**



Рис. 1.83. Група кнопок **Вузли** розділу **Вузли і Елементи** інструментальної панелі

За допомогою групи кнопок режиму **Вузли** (рис. 1.83) виконуються наступні операції:



– видалення вузлів;



– відновлення видалених вузлів;



– введення вузлів;



– введення додаткових вузлів між вузлами;



– перенесення вузлів;



– об'єднання збіжних вузлів;



– введення вузлів по дузі;



– перенесення початку загальної системи координат;



– введення вузлів на заданій відстані від вибраних вузлів;



– перенесення одного вузла в іншій;




– введення вузлів в точках перетину координаційних осей;




– вибір вузлів.

Для зручності роботи з вузлами можна скористатися кнопкою їх відображення на панелі

фільтрів . В цьому випадку вузли стають видимими в робочому полі екрану.

### **Видалення вузлів**

Для видалення вузлів необхідно:

- натиснути кнопку **Видалення вузлів** .

• вибрати на розрахунковій схемі вузли, що видаляються (вибраний вузол забарвлюється червоним кольором);

- натиснути на кнопку **ОК** в розділі **Вузли і Елементи**.

Одночасно з видаленням вузлів будуть видалені і примикаючі до них елементи. Якщо видаленим виявився не «той вузол», його можна відновити, скориставшись операцією **Відновлення видалених вузлів**.

### **Відновлення видалених вузлів**



Перш, ніж скористатися цією операцією, видалені вузли треба «висвітити», тобто зробити видимими на екрані. Для цього скористаємося кнопкою фільтру **Видалені вузли** –



після натиснення якої раніше видалені вузли виділяються жовтим кольором. Далі дійте в такій послідовності:

- натиснути кнопку **Відновлення видалених вузлів**;
- вибрати серед видалених відновлювані вузли (вони забарвляються червоним кольором);
- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Вузли і Елементи**.

Якщо при цьому була натиснута кнопка фільтрів **Вузли**, відновлені вузли будуть показані на схемі.

Зверніть увагу, що ця операція відновлює тільки вузли. В тих випадках, коли при видаленні вузлів були видалені пов'язані з ними елементи, їх відновлення виконується за допомогою аналогічної операції, але в групі кнопок **Елементи**.

## ВВЕДЕННЯ ВУЗЛІВ

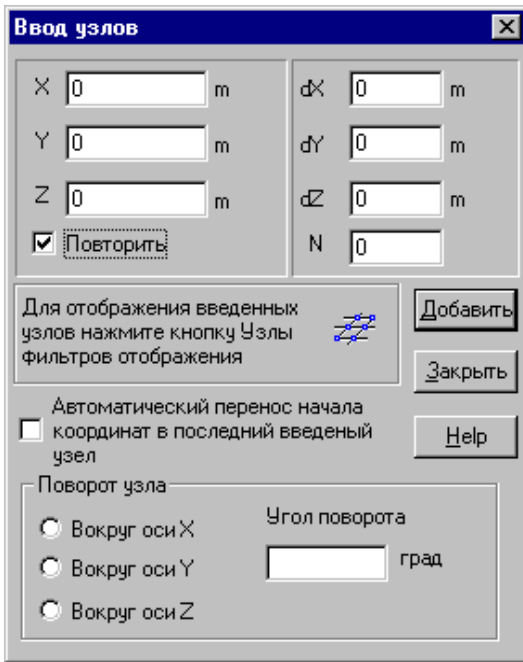


Рис. 1.84. Діалогове вікно  
**Введення вузлів**



Застосування цієї операції вже розглядалося вище. Покажемо додаткові можливості, до яких відносяться автоматичне перенесення початку координат в останній введений вузол і розворот вузлів щодо осей загальної системи координат. Активізація цих режимів проводиться включенням відповідних кнопок у вікні (рис. 1.84).

При перенесенні початку координат в останній введений вузол новий відлік координат вузлів йде від цього вузла.

Є можливість задати вузли, що лежать на прямій. Положення прямої визначається координатами першого вузла і приростом цих координат. Можливий поворот цієї прямої навкруги однієї з осей загальної

системи координат. Центр обертання знаходиться на початку загальної системи координат.

Зміна напрямку введення вузлів може виконуватися шляхом вказівки кута розвороту лінії введення навкруги однієї з осей загальної системи координат. Якщо вводиться група вузлів (використовується повторювач), то всі вузли групи лежатимуть на прямій, яка під заданим кутом буде перерізати початок координат.

## ВВЕДЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВУЗЛІВ МІЖ ВУЗЛАМИ



Використовується в тих випадках, коли необхідно додати вузли на прямій, що сполучає два раніше введені вузли. Після натиснення кнопки **Введення додаткових вузлів між вузлами** з'являється діалогове вікно **Поділ проміжку між двома вузлами** (рис. 1.85), в якому можна вибрати одну з трьох операцій:

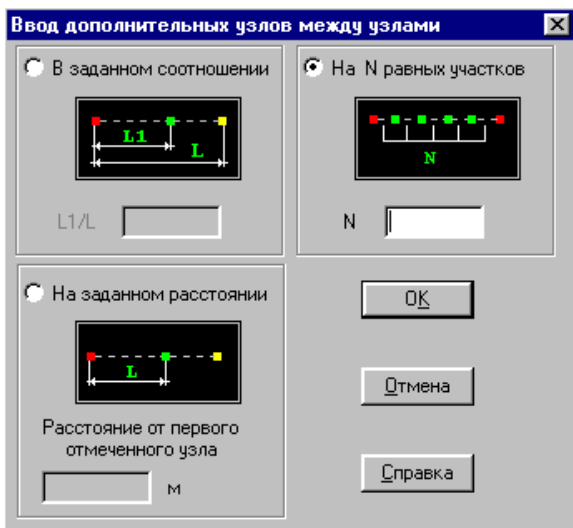


Рис. 1.85. Діалогове вікно  
**Ділення проміжку між двома вузлами**

- введення декількох вузлів, що рівномірно ділять інтервал між двома вибраними вузлами;
- введення одного вузла, що ділить інтервал між двома вибраними вузлами в заданому співвідношенні;
- введення одного вузла в інтервал між двома вибраними вузлами на заданій відстані від першого вибраного вузла.

Для призначення операції слід активізувати відповідну опцію у вікні і потім ввести числові

характеристики. Після виходу з вікна натисненням кнопки **ОК** слід:

- вибрати перший вузол (для другого і третього варіантів суттєво, який з вузлів вибраний першим);
- вибрати другий вузол (залежно від заданої функції на екрані відразу з'являється новий вузол або вузли).

За допомогою цієї функції виконується введення нових вузлів. Якщо вузли, що беруть участь в операції, належать елементу, то дроблення елементу не виконується.

## ПЕРЕНЕСЕННЯ ВУЗЛІВ



Функція перенесення вузлів включає дві операції: перенесення на заданий вектор і перенесення в задану точку. Вибір операції і установка параметрів виконується в діалоговому вікні **Перенесення вузлів** (рис. 1.86), яке з'являється після активізації функції.

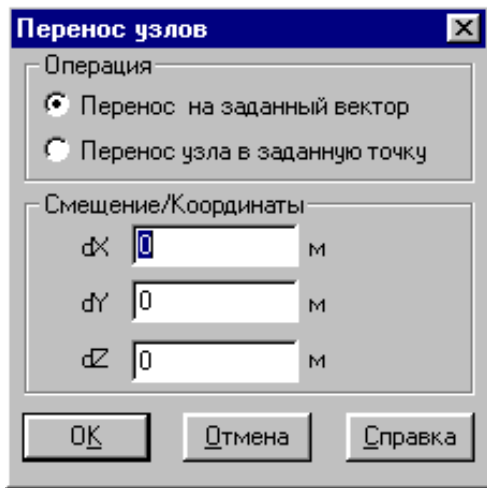


Рис. 1.86. Діалогове вікно **Перенесення вузлів**

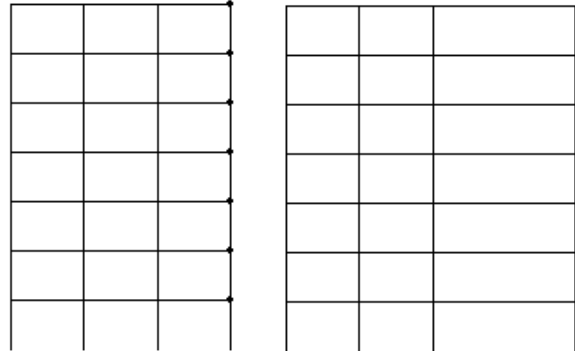



Рис. 1.87. Приклад використання функції перенесення вузлів на заданий вектор

В першому випадку кожний  $i$ -й вузол з вибраної групи вузлів (або один вузол) переміщується в просторі в точку, визначувану шляхом складання координат  $i$ -го вузла ( $X_i, Y_i, Z_i$ ) із заданими приростами по кожному напрямку ( $dX, dY, dZ$ ). В результаті всі вузли групи переміщуються на задану відстань. В прикладі, приведенному на рис. 1.87, відзначені вузли пересунуті в позитивному (співпадаючому з напрямом осі) напрямі уздовж осі X.

Перенесення вузла в задану точку еквівалентно зміні координат вузла на нові координати, задані в діалоговому вікні.

При використуванні функцій перенесення вузлів необхідно стежити, щоб в результаті їх роботи не відбувалися неприпустимі зміни форми скінченних елементів. Такі, як поява нульових довжин стержневих елементів, попадання трьох вузлів пластини на одну пряму або втрата площинності чотиривузлових елементів, а також зміна прямих кутів прямокутних пластинчатих елементів. В останньому випадку необхідно змінити тип елементів.

Для відміни цієї операції (і доки лише цієї) можна скористатися кнопкою  – відміна останньої дії.

## Об'єднання вузлів із співпадаючими координатами



Після натиснення кнопки **Об'єднання збіжних вузлів** з кожної групи вузлів із співпадаючими координатами в схемі залишиться тільки один вузол, а інші будуть видалені. В елементах, які примикали до видалених вузлів, номери вузлів заміняться на ті, що залишилися в схемі. Якщо на схемі є вибрані (маркіровані) вузли із співпадаючими координатами, то перед виконанням операції виводиться вікно повідомлень, в якому слід призначити режим об'єднання – для всіх збіжних вузлів або тільки для вибраних. Для індикації

збіжних вузлів можна скористатися кнопкою фільтрів .

Вузли вважаються співпадаючими, якщо відстань між ними менше величини, встановленої в діалоговому вікні **Налагоджування графічного середовища** (див. розділ **Опції** в меню).

## ГЕНЕРАЦІЯ ВУЗЛІВ ПО ДУЗІ

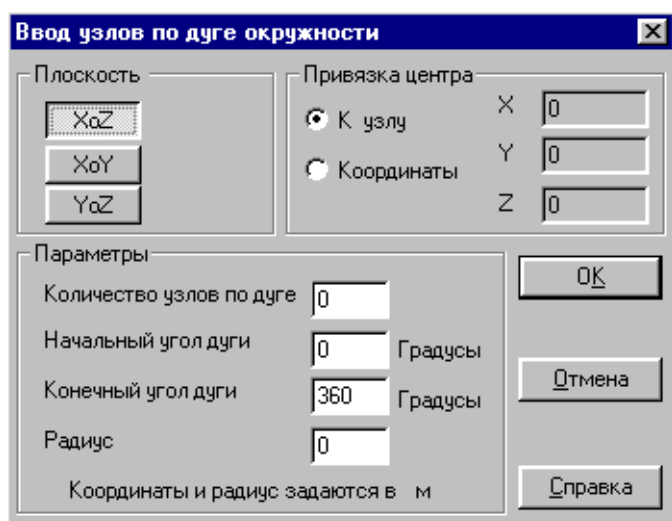


Рис. 1.88. Діалогове вікно  
**Введення вузлів по дузі кола**



За допомогою цієї операції можна ввести вузли по дузі кола, що лежить в заданій площині. Управління операцією і призначення параметрів дуги виконується в діалоговому вікні **Введення вузлів по дузі кола** (рис. 1.88), яке викликається натисненням кнопки **Генерація вузлів по дузі**.

В цьому вікні призначається площина, в якій лежать нові вузли, кількість вузлів по дузі, кути початку і кінця дуги, радіус кола і

його центр. Центр може бути прив'язаний як до вузла, так і до точки з будь-якими координатами.

Якщо центр задано лежачим у вузлі, то слід вибрати цей вузол і натиснути кнопку **ОК** в розділі **Вузли і Елементи**. Після цього на схемі з'являться нові вузли. У випадку, коли центр задано координатами, нові вузли будуть додані в схему відразу після натиснення кнопки **ОК** діалогового вікна.

## ПЕРЕНЕСЕННЯ ПОЧАТКУ КООРДИНАТ В ЗАДАНИЙ ВУЗОЛ



Ця операція дуже корисна, а в деяких випадках навіть необхідна при використанні функцій геометричних перетворень. Особливо це стосується операцій повороту частини схеми на заданий кут, оскільки повороти виконуються обертанням груп вузлів (а отже і приєднаних до них елементів) навколо початку загальної системи координат. Для виконання операції натиснемо кнопку виклику операції в інструментальній панелі, виберемо на схемі вузол, в який переноситься початок загальної системи координат, і виконаємо перенесення натисненням кнопки **ОК**. Для контролю виконаної операції можна скористатися кнопкою



фільтрів – **Відображення загальної системи координат**.

## ВВЕДЕННЯ ВУЗЛІВ НА ЗАДАНИЙ ВІДСТАНІ ВІД ВИБРАНИХ



Операція дозволяє ввести нові вузли, кожний з яких знаходиться на заданій відстані від вибраних на схемі вузлів-прототипів. Після активізації операції з'являється діалогове вікно **Введення вузлів** (рис. 1.89), в таблиці якого задаються відстані у виді приростів до координат вибраних вузлів і кількість повторень.

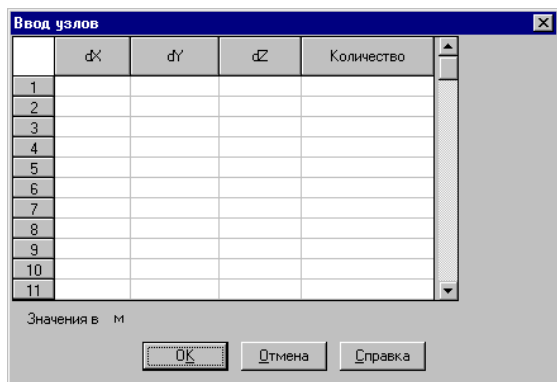


Рис. 1.89. Діалогове вікно  
**Введення вузлів**

Для виконання операції введемо у вікні необхідну інформацію, вийдемо з вікна, виберемо на схемі вузли і натиснемо кнопку **ОК** в інструментальній панелі.



## ПЕРЕНОСЕННЯ ОДНОГО ВУЗЛА В ІНШІЙ



За допомогою цієї операції для всіх елементів, що примикають до заданого вузла, виконується заміна цього вузла на інший. Першим слід вибрати замінюваний вузол (він маркується червоним кольором), а потім вузол, в який здійснюється перенесення (він маркується зеленим кольором), і натискувати кнопку **ОК** в інструментальній панелі. Після виконання операції вузол, помічений червоним, не видаляється.

При виконанні операції необхідно стежити, щоб в результаті роботи не відбувалися неприпустимі зміни форми скінченних елементів. Такі як: поява стержневих елементів нульової довжини, попадання трьох вузлів пластини на одну пряму або втрата плоскості чотиривузлових елементів, а також зміна прямих кутів прямокутних пластинчатих елементів. В останньому випадку необхідно змінити тип елементів.

## ВИБІР ВУЗЛІВ



Цей режим дозволяє вибрати вузли до того, як призначена функція або операція маніпулювання цими вузлами. Ми вже користувалися цією кнопкою при виконанні копіювання і геометричних перетворень. Якщо з якоїсь причини необхідно відмінити вибір, то слід натискувати кнопку **Відмова** в групі кнопок **Вузли** або кнопку **Скидання позначки** на панелі фільтрів. Дублікат кнопки знаходиться в лівій частині рядка стану **SCAD**.

## ВВЕДЕННЯ ВУЗЛІВ В ТОЧКАХ ПЕРЕРІЗУ КООРДИНАЦІЙНИХ ОСЕЙ



Функція генерації вузлів дозволяє породити вузли на перетині осей в заданій області сітки. При цьому відмітки рівнів розглядаються як координати вузлів по осі Z. Породжені вузли можуть використовуватися для всіх передбачених в комплексі операцій введення і призначення. Вони є основою для побудови області триангуляції, введення стержневих, пластинчатих і об'ємних елементів, визначають крок копіювання фрагмента схеми, беруть участь в операціях геометричних перетворень і збирання.

Правила введення вузлів призначаються в діалоговому вікні **Генерація вузлів** (рис. 1.90). Для кожного напрямку координаційної сітки, включаючи відмітки рівнів, передбачена можливість введення вузлів в область, яка обмежується заданими марками осей початку (лівий список) і кінця (правий список). Якщо вузли лежать на прямій, то за її напрямом марки осей початку і кінця співпадають (рис. 1.91).

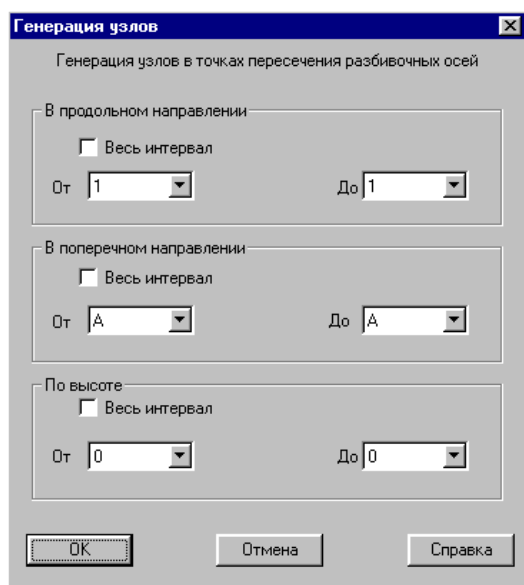


Рис. 1.90. Діалогове вікно **Генерація вузлів**

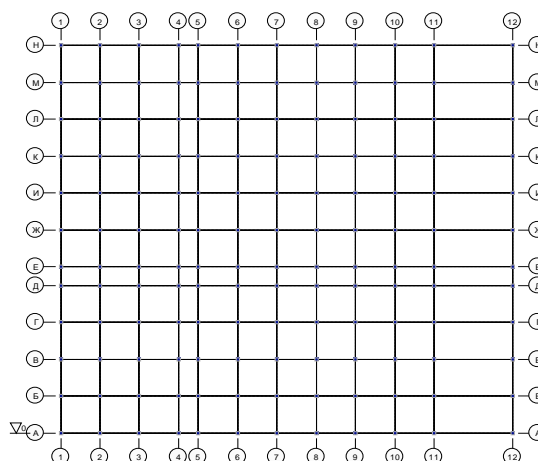



Рис. 1.91. Координаційні осі на відм. 0.00 з вузлами в точках перетину осей

Якщо після завершення роботи з фрагментом сітки частина вузлів виявилася невикористаною і для подальшої роботи вони не потрібні, їх можна видалити, виконавши операцію **Упаковка даних** в розділі **Управління** інструментальної панелі.



















### 1.13.2 Операції з елементами

Доступ до операцій з елементами здійснюється натисканням кнопки **Елементи**  в розділі **Вузли і Елементи**. Для переходу від режиму роботи з вузлами до режиму роботи з елементами і навпаки достатньо натискувати на відповідну кнопку.

В режимі роботи з елементами в полі інструментальної панелі з'явиться група кнопок (рис. 1.92), за допомогою яких виконуються наступні операції:



Рис. 1.92. Група кнопок **Елементи**

-  – введення три - і чотиривузлових елементів;
-  – введення стержневих елементів;
-  – введення об'ємних елементів;
-  – видалення елементів;
-  – відновлення видалених елементів;
-  – введення стержнів з урахуванням проміжних вузлів;
-  – розбиття стержневих елементів;
-  – розбиття чотиривузлових елементів;
-  – введення зв'язків кінцевої жорсткості;
-  – введення пружних зв'язків;
-  – введення нуль-елементів;
-  – введення стержнів по дузі кола;
-  – об'єднання двох стержневих елементів;
-  – вибір елементів;
-  – об'єднання збіжних елементів;
-  – розділення елементів;
-  – приєднання додаткових вузлів до елементів;
-  – розбиття стержнів з урахуванням проміжних вузлів.

## ВВЕДЕННЯ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

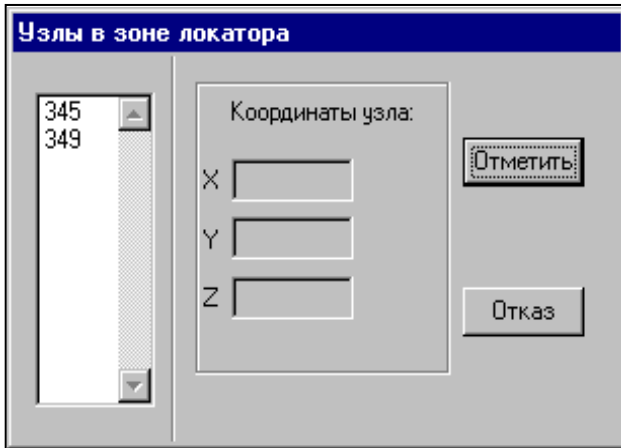



Рис. 1.93. Діалогове вікно  
**Вузли в мішені курсору**




Для виконання операції встановимо курсор  у вузол і натиснемо ліву кнопку миші, протягнемо гумову нитку до другого вузла і знову натиснемо кнопку миші. Вузол, який був вибраний першим, буде призначений першим вузлом стержня, тобто точкою початку місцевої системи координат елемента.

Якщо в мішень курсору потрапляє більше одного вузла, то з'являється діалогове вікно **Вузли в мішені курсору** (рис. 1.93). В цьому вікні слід вибрати зі списку потрібний вузол і натиснути кнопку **Відзначити**.

## ВВЕДЕННЯ ТРИ - І ЧОТИРИВУЗЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ



Функція **Введення пластин** дозволяє ввести в схему, а фактично, прив'язати до вже введених вузлів, три - і чотиривузлові елементи. За допомогою курсору  виконати цю функцію достатньо просто – вибрати потрібну кількість вузлів і двічі натиснути ліву кнопку миші або кнопку **ОК** в інструментальній панелі. Якщо буде вибрано три вузли – введеться тривузловий елемент, якщо чотири – чотиривузловий. В інших випадках буде отримано повідомлення про помилку.

Операція може бути виконана і з використанням курсорів-рамочок. Для цього треба охопити рамкою 3 або 4 вузли. Подвійне натискання кнопки миші – і елемент введений. Ще одне натискання – і курсор вільний для продовження роботи.

## ВВЕДЕННЯ ОБ'ЄМНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

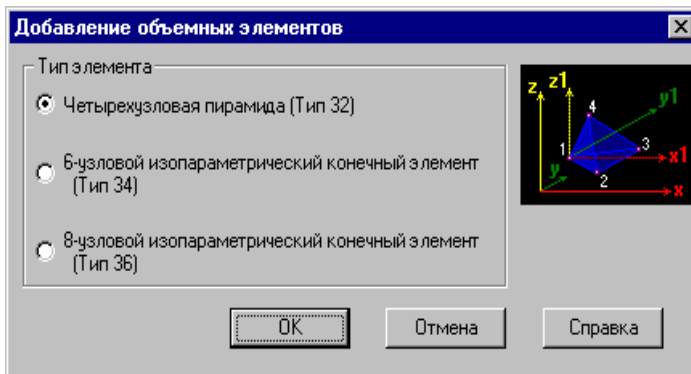


Рис. 1.94. Діалогове вікно  
**Введення об'ємних елементів**



Враховуючи різноманіття видів об'ємних елементів, перед тим, як їх ввести, необхідно призначити тип елемента, що додається. Призначення виконується в діалоговому вікні **Введення об'ємних елементів**

(рис. 1.94), яке з'являється після натиснення відповідної кнопки в розділі **Вузли і Елементи**. Передбачено введення об'ємних елементів трьох видів – чотиривузлових пірамід (тип 32), а також шести - (тип 34) і восьмиузлових (тип 36) елементів. В більшості випадків цих типів елементів достатньо для моделювання схем. Для введення елементів необхідно виконати наступні операції:

- активізувати в діалоговому вікні опцію відповідного типу елементів;
- натиснути на кнопку **ОК**, після чого вікно закриється;
- вибрати на схемі вузли, кількість яких повинна відповідати призначеному типу елемента;
- двічі натиснути на ліву кнопку миші або на кнопку **ОК** в інструментальній панелі.

Операція може бути виконана і з використанням курсорів-рамок. Для цього потрібно захопити рамкою вузли і виконати подвійне натиснення кнопки миші – елемент буде введеним. Ще одне натискання – і курсор вільний для вибору інших вузлів.

### **ВИДАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ**

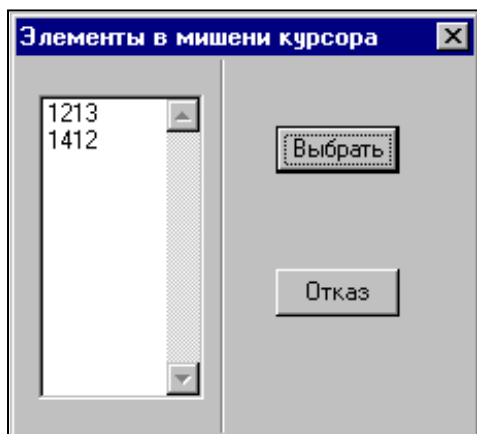



Рис. 1.95. Діалогове вікно  
**Елементи в мішені курсору**



Для видалення елементів необхідно вибрати їх на схемі (вони маркуються червоним кольором) і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі. Якщо вузол або вузли належали тільки виділеним елементам, то він (вони) видаляються разом з ними, і їх відновлення виконується функцією відновлення вузлів.

Вибирати елементи можна любим типом курсору. При використанні курсору  його мішень слід встановити в полі елемента і натиснути ліву кнопку миші. Якщо в мішень потрапило декілька елементів, то їх список буде виведений в спеціальному діалоговому вікні – **Елементи в мішені курсору** (рис. 1.95). Після вибору в списку потрібного елемента слід натиснути кнопку **Вибрати**. При використуванні курсору-рамки вибираються тільки ті елементи, всі вузли яких потрапили в прямокутник або полігон. Вторинна вказівка на відібраний елемент відмінє вибір.

### **ВІДНОВЛЕННЯ ВИДАЛЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**



Ця операція дає можливість відновити видалені елементи, якщо вони не були видалені з проекту операцією упаковки даних. Для відновлення видалених елементів необхідно виконати декілька операцій в такій послідовності:

- натиснути кнопку **Відновлення видалених елементів**, після чого всі видалені елементи маркуються на схемі жовтим кольором;
- вибрати на схемі відновлювані елементи (елементи маркуються червоним кольором);
- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Вузли і Елементи**.

В процесі відновлення елементів автоматично відновлюються і примикаючі до них вузли.

### **ВВЕДЕННЯ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З УРАХУВАННЯМ ПРОМІЖНИХ ВУЗЛІВ**



Ця операція дає можливість автоматично розділити стержень на декілька елементів з урахуванням всіх вузлів, що ним перетинаються. Операція виконується аналогічно введенню одного стержневого елемента і допустима як для плоских, так і для просторових розрахункових схем.

Точність визначення факту проходження стержня через вузол встановлюється в розділі меню *Опції* в діалоговому вікні **Налагоджування графічного середовища** параметром, що визначає точність оцінки збіжності вузлів.

### **РОЗДІЛЕННЯ СТЕРЖНЯ**



Використовується в тих випадках, коли необхідно поділити стрижень на декілька стержнів, і включає три операції:

- поділити стержень на N однакових стержнів;
- поділити стержень на два стержні в заданому співвідношенні;
- поділити стержень на два стержні заданого розміру (при виконанні цієї операції задається довжина нового стержня, прилеглого до першого вузла початкового).

Для вибору операції треба активізувати відповідну опцію в діалоговому вікні (рис. 1.96), а потім ввести числові характеристики. Після виходу з вікна необхідно вибрати на схемі елементи і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі.

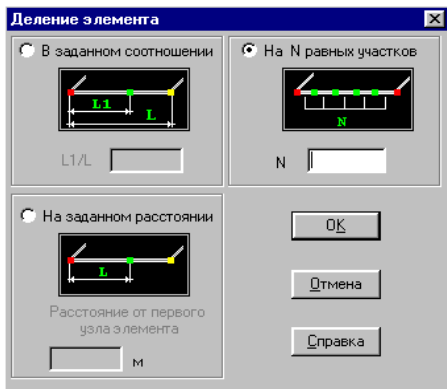


Рис. 1.96. Діалогове вікно Ділення елемента

При введенні даних слід пам'ятати, що при діленні стержня в заданому співвідношенні значення  $L1/L$  повинне бути позитивним і менше одиниці, а при діленні на два стержні заданого розміру – довжина нового стержня не повинна перевищувати довжини початкового.

### ВВЕДЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (ЗВ'ЯЗКИ СКІНЧЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ)

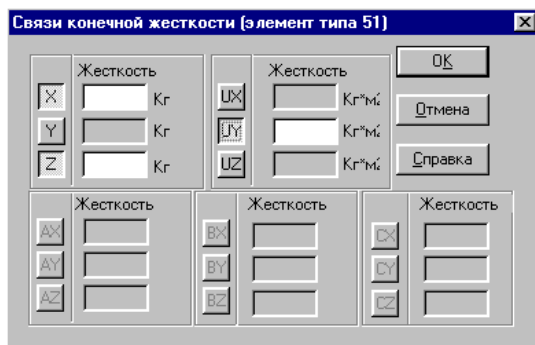


Рис. 1.97. Діалогове вікно В'язі скінченної жорсткості



За допомогою цієї операції виконується введення і призначаються жорсткостні характеристики для елементів, що моделюють зв'язки кінцевої жорсткості (тип 51). Після активізації операції з'являється діалогове вікно **Зв'язки**

**скінченної жорсткості** (рис. 1.97), в якому слід задати напрям в'язі і жорсткість в заданому напрямку. Операція дозволяє призначити жорсткостні характеристики і ввести в заданий вузол (вузли) елементи за всіма необхідними напрямками. Для цього слід активізувати опції, вказуючи напрями зв'язків, а потім ввести значення жорсткості зв'язків по цих напрямках. Після виходу з діалогового вікна необхідно вибрати на схемі вузли, до яких прив'язується задана комбінація зв'язків, і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі.

Якщо в процесі установки зв'язків включений фільтр відображення спеціальних скінченних елементів, то елементи будуть показані на схемі у вигляді концентричних кіл, радіус, колір і кількість яких залежить від кількості і напрямку введених зв'язків.

### ВВЕДЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (ПРУЖНІ В'ЯЗІ)



Рис. 1.98. Діалогове вікно Пружні в'язі



Ця операція дозволяє виконати введення і призначити жорсткостні характеристики елементам, що моделюють пружні зв'язки (тип 55). Після активізації операції з'являється діалогове вікно **Пружні в'язі** (рис. 1.98), в якому слід задати жорсткості в необхідних напрямках. Введення елементів

виконується аналогічно введенню стержнів.

Слід врахувати, що цей тип елемента може не мати довжини, тобто примикати до вузлів із співпадаючими координатами.

## ВВЕДЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (НУЛЬ-ЕЛЕМЕНТИ)



Рис. 1.99. Діалогове вікно  
**Характеристики нуля-елемента**



Ця операція дозволяє виконати введення і призначити жорсткостні характеристики нуля-елементів (тип 154), за допомогою яких:

- забороняються лінійні і кутові переміщення по напрямках осей місцевої системи координат елемента;
- забезпечується розрахунок на задані переміщення, які не співпадають з напрямком осей загальної системи координат.

Після активізації операції з'являється діалогове вікно **Характеристики нуля-елемента** (рис. 1.99), в якому слід задати жорсткості в необхідних напрямках.

Введення елементів виконується аналогічно введенню стержнів. Слід врахувати, що перший вузол елементів цього типу повинен обов'язково примикати до конструкції. Другий вузол елементів цього типу повинен бути вільним, тобто він не може належати будь-якому елементу, і в ньому не допускається наявність зв'язків. Жорсткості, що відповідають забороненим ступеням вільності, задаються ненульовими.

## ВВЕДЕННЯ СТЕРЖНІВ ПО ДУЗІ КОЛА

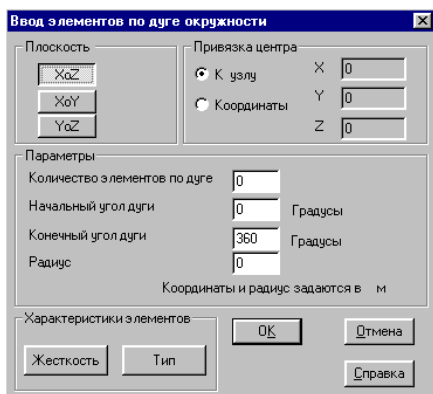


Рис. 1.100. Діалогове вікно  
**Введення елементів по дузі кола**



Операція дозволяє виконати введення стержневих елементів, які примикають до вузлів, що лежать на дузі кола. Керування введенням виконується в діалоговому вікні **Введення елементів по дузі кола** (рис. 1.100), де призначається площина, в якій лежать нові елементи, кількість елементів по дузі, кути початку і кінця дуги, радіус

кола і його центр. Центр може бути прив'язаний як до вузла, так і до точки з будь-якими координатами.

Якщо центр лежить у вузлі, то після виходу з вікна виберемо цей вузол і натиснемо кнопку **ОК**. Якщо центр заданий координатами, нові елементи будуть введені в схему автоматично після виходу з вікна.

Одночасно з введенням характеристик дуги можна задати жорсткості і тип елементів (кнопки **Жорсткість** і **Тип** відповідно).

## ОБ'ЄДНАННЯ ДВОХ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ



Операція дозволяє об'єднати два стержневі елементи, що мають загальний вузол, в один. Для виконання операції виберемо два стержні і виконаємо об'єднання натисненням кнопки **ОК** в інструментальній панелі.

При об'єднанні стержнів необхідно звернути увагу на результат. Перевірити тип отриманого елемента, орієнтацію місцевих осей, жорсткість, наявність шарнірів.

## ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ



За допомогою цієї кнопки можна вибрати елементи до того, як буде призначена функція або операція маніпулювання відзначеними елементами. Якщо для **всіх вибраних елементів** необхідно відмінити вибір, то слід натиснути кнопку **Відмова** в групі кнопок **Елементи** або кнопку **Скидання позначки** на панелі фільтрів.

## ОБ'ЄДНАННЯ ЗБІЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ



Ця операція дозволяє виключити зі схеми співпадаючі елементи. Під співпадаючими будемо розуміти такі елементи, у яких співпадають номери всіх вузлів. При цьому не аналізуються жорсткостні характеристики елементів, їх тип, навантаження тощо. В схемі залишається елемент з меншим номером зі всіма його характеристиками. Операція об'єднання не розповсюджується на спеціальні скінченні елементи.

Якщо на схемі немає *вибраних* збіжних елементів, то після активізації операції об'єднання елементів буде виконано для всієї схеми. В протилежному випадку – тільки для вибраних. Для індикації на схемі збіжних елементів можна скористатися відповідною кнопкою фільтрів –



## ДРОБЛЕННЯ ЧОТИРИВУЗЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

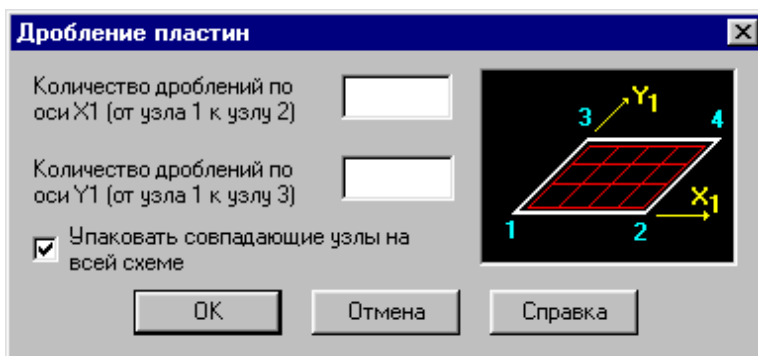



Рис. 1.101. Діалогове вікно Дроблення пластин



Ця операція дозволяє роздібити вибрані чотиривузлові елементи на декілька елементів. Початкові дані, необхідні для

виконання операції, задаються в діалоговому вікні **Дроблення пластин** (рис. 1.101) і включають кількість дроблень граней елемента, що лежать вздовж напрямку місцевих осей  $X_1$  і  $Y_1$ .

Після виконання операції в схемі можуть з'явитися співпадаючі вузли. Якщо у вікні активізована опція **Упакувати співпадаючі вузли на всій схемі**, то після виконання дроблення автоматично викликатиметься ця операція. В протилежному випадку контроль наявності збіжних вузлів і їх об'єднання повинен виконуватися за допомогою відповідних

функцій. Для індикації на схемі збіжних вузлів використовується кнопка фільтрів ,

а для їх об'єднання – операція  в групі кнопок **Вузли**.


## РОЗДІЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ



Ця операція використовується в тих випадках, коли необхідно розділити (відділити один від одного) елементи. Це може виявитися необхідним, наприклад, при моделюванні температурного шва або для введення спеціальних елементів (пружних зв'язків) між двома елементами. На відміну від інших операцій для виконання цієї необхідно відзначити і вузли, і елементи. Суть виконуваної дії така, що для кожного відзначеного вузла (вузла-прототипу) породжується новий вузол з такими ж координатами. Цей вузол замінює вузол-прототип у вибраних елементах.

Рекомендується наступний порядок виконання операції:

- натиснути кнопку **Вибір вузлів**  і вибрати вузли-прототипи;

- натиснути кнопку **Вибір елементів**  і вибрати елементи, які від'єднуюватимуться від вузлів-прототипів;

- натиснути кнопку **Розділення елементів**.

При виконанні цієї операції спочатку вибираються об'єкти, які беруть участь в ній, кнопка **ОК** не використовується - і розділення проводиться після натиснення кнопки **Розділення елементів**.

## ПРИЄДНАННЯ ДОДАТКОВИХ ВУЗЛІВ ДО ЕЛЕМЕНТІВ

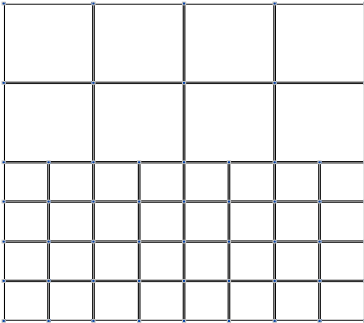


Рис. 1.102. Використовування додаткових вузлів



За допомогою цієї операції можна приєднати додаткові вузли до граней пластинчатих елементів типу 20, 30 і 50 (високоточні восьмивузлові елементи плити, балки-стілки і оболонки відповідно). Введення додаткових вузлів дозволяє підвищити якість результатів без згущування сітки елементів, а

також коректно організувати перехід між ділянками розрахункової схеми (рис. 1.102). Для виконання операції слід ввести додаткові вузли, вибрати на схемі елементи, до яких вони приєднуються і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі (елементи повинні бути вказаних вище типів).

## РОЗБИТТЯ СТЕРЖНІВ З УРАХУВАННЯМ ПРОМІЖНИХ ВУЗЛІВ



Якщо по довжині стержневого елемента лежать один або декілька проміжних вузлів, то за допомогою цієї операції елемент можна розбити на декілька у відповідності з кількістю таких вузлів. Необхідність розбиття стержнів виникає, наприклад, у разі триангуляції ділянки розрахункової схеми, що містить стержні. Для виконання операції слід вибрати на схемі потрібні елементи і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі.

Якщо подрібненим раніше елементам були призначені жорсткостні характеристики, то вони успадковуються і новими елементами.

### 1.13.3 Групи вузлів і елементів

**Групи** – це іменовані набори вузлів або елементів, які можуть неодноразово використовуватися для виконання різних операцій: призначення жорсткостних характеристик, зв'язків, навантажень, а також нарівні зі схемами брати участь в режимі збирання. Принцип об'єднання об'єктів в групи і задавання імен груп повністю регулюється користувачем.

Це можуть бути характерні ділянки конструкції, наприклад, плити перекриттів на різних відмітках, колони поверху або інші набори об'єктів. Важливо, що групи доступні у всіх режимах роботи зі схемою, як на етапі її створіння або призначення параметрів для обробки даних в постпроцесорах, так і в процесі аналізу і документування результатів розрахунку. Графічне середовище комплексу побудовано таким чином, що завжди можна локалізувати інформацію в рамках необхідної для роботи групи вузлів або елементів.

Виклик функцій створення груп виконується з розділу **Групи** інструментальної панелі (рис.




1.103). Розділ містить кнопки призначення об'єктів групи (вузли –  або елементи – ) збереження груп –  і два списки для вибору раніше створених груп вузлів і елементів. Після завантаження із списку всі об'єкти активної групи маркуються на схемі як вибрані.



Рис. 1.103. Розділ інструментальної панелі **Групи**

### СТВОРЕННЯ ГРУП

Для створення нової групи вузлів або елементів необхідно виконати наступне:

- натиснути кнопку створення відповідної групи;
- вибрати на розрахунковій схемі об'єкти групи;
- натиснути кнопку збереження групи;



- увести в діалоговому вікні **Групи вузлів** (рис. 1.104.) або **Групи елементів** (рис. 1.105) ім'я групи і натискувати кнопку **Додати групу**;
- натиснути кнопку **ОК** в діалоговому вікні.

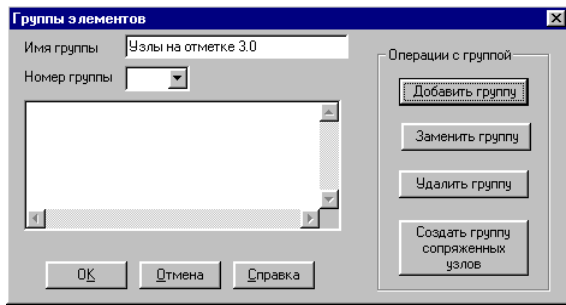


Рис. 1.104. Діалогове вікно  
**Групи вузлів**

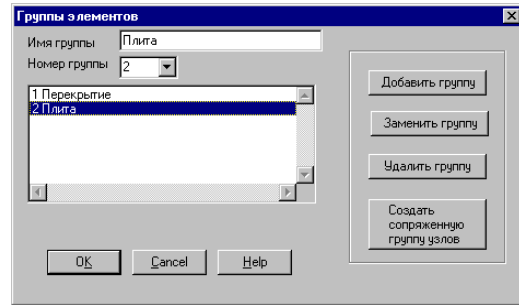



Рис. 1.105. Діалогове вікно  
**Групи елементів**

Після збереження групи її ім'я заноситься у відповідний список груп в інструментальній панелі. Перед підготовкою наступної групи необхідно натисненням кнопки  відмінити вибір об'єктів попередньої групи.

При створенні групи елементів можна автоматично сформувати групу зв'язаних з елементами вузлів, яка отримає те ж ім'я. Під зв'язаними розуміються такі вузли, які належать елементам вибраної групи і одночасно хоча б одному елементу, що не входить до цієї групи. Для цього перед натисненням кнопки **Додати групу** слід натиснути кнопку **Створити групу зв'язаних вузлів**.

#### **КОРИГУВАННЯ НАБОРУ ОБ'ЄКТІВ В ГРУПІ**

У випадку зміни набору об'єктів в групі необхідно виконати наступне:

- вибрати зі списку групу, що буде коригуватись;
- внести в неї зміни шляхом включення і/або виключення об'єктів;
- натиснути кнопку збереження групи;
- вибрати із списку номер або ім'я замінюваної групи;
- натиснути кнопку **Замінити групу**;
- вийти з діалогового вікна, натискаючи кнопку **ОК**.

Аналогічно заміні виконується і видалення групи (нагадаємо, що видалення групи пов'язано тільки з виключенням її із списку груп). В цьому випадку після вибору групи слід викликати функцію **Збереження групи**, встановити номер групи, натиснути кнопку **Видалити групу**.

#### **ВИБІР ГРУПИ**

Для вибору групи достатньо вказати її ім'я у відповідному списку інструментальної панелі. Всі об'єкти вибраної групи маркуються на схемі червоним кольором – вибрані.

Таким чином, відразу після виклику групи для цих об'єктів можна призначати і виконувати операції. Є тільки одне обмеження – із списків в інструментальній панелі не можна одночасно вибрати декілька груп. Тобто виключається випадок, коли на схемі одночасно марковані групи вузлів і елементів, а також об'єкти, що належать до різних груп.

#### **Контрольні питання**

1. Для чого необхідна функція введення додаткових вузлів між вузлами?
2. Які функції включає операція перенесення вузлів?
3. Як виконується операція введення стержневих елементів?
4. Які операції необхідно виконати для відновлення видалених елементів?
5. Що включає в себе операція подрібнення стержня?

## 1.14. Задавання характеристик вузлів і елементів

Функції, які виконують під час формування розрахункової схеми, зібрані в розділі **Призначення інструментальної панелі** (рис. 1.106) і при їх використанні зберігається вже знайомий порядок дій:

- вибрати операцію;
- увести дані;
- вибрати об'єкти;
- виконати призначення (натиснути кнопку **ОК**).

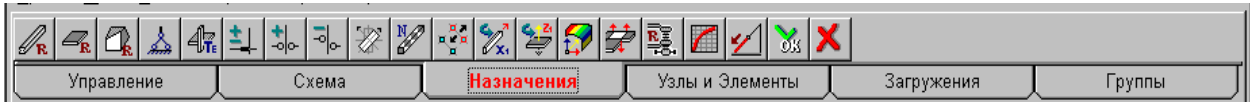


Рис. 1.106. Розділ інструментальної панелі **Призначення**

Для виконання функцій призначення використовуються наступні кнопки:



– призначення жорсткостних характеристик стержневим, пластинчастим і об'ємним елементам;



– видалення дублюючих типів жорсткості;



– призначення зв'язків у вузлах;



– призначення типів елементів;



– уведення або видалення жорстких вставок;



– уведення шарнірів;



– видалення шарнірів;



– призначення кута орієнтації головних осей інерції;



– призначення проміжних перерізів одержання зусиль;



– призначення об'єднання переміщень;



– зміна орієнтації місцевої осі  $X_1$  стержнів;



– зміна орієнтації місцевої осі  $Z_1$  пластин;



– призначення напрямку осей видачі зусиль;



– вибір елементів для розрахунку реакцій у вузлах;



– призначення геометрично-нелінійних елементів;



– уведення й призначення параметрів однобічних зв'язків.

### 1.14.1 Призначення жорсткісних характеристик

Призначення жорсткісних характеристик виконується залежно від виду елементів. Передбачені спеціальні функції для введення параметрів і призначення жорсткостей для стержневих, пластинчастих і об'ємних скінченних елементів.

Жорсткостні характеристики спеціальних елементів призначаються в процесі їх уведення й можуть бути відкоректовані шляхом виклику відповідних діалогових вікон з колірної шкали жорсткості або в процесі одержання інформації про конкретний елемент.

### ПРИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ



Реалізовані в комплексі функції задавання фізико-механічних характеристик стержневих елементів дозволяють описати їх чисельно, через геометричні характеристики параметричних (типових) перерізів, призначити з вибраного сортаменту металопрокату, виконати чисельно-параметричне призначення жорсткості, а також призначити жорсткостні характеристики, використовуючи результати роботи **Конструктора перерізів**. При необхідності вони можуть бути доповнені характеристиками пружної основи. Дані вводяться в багатосторінковому діалоговому вікні **Жорсткості стержневих елементів** (рис. 1.107). Набір сторінок цього вікна залежить від способу опису жорсткості. Перехід між сторінками виконується вказівкою на відповідну закладку.

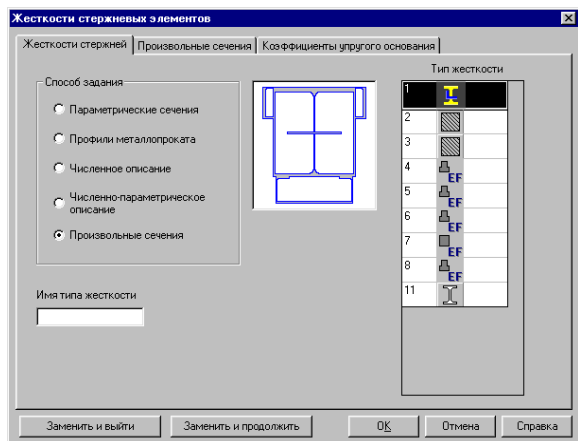


Рис. 1.107. Діалогове вікно **Жорсткості стержневих елементів**

На першій сторінці **Жорсткості стержневих елементів** знаходиться група кнопок, за допомогою яких вибирається спосіб задавання жорсткостей. Після активізації потрібної опції з'являються закладки сторінок, відповідно до обраного способу опису. Крім того на першій сторінці знаходиться список, у якому зазначаються номери й перерізи введених раніше типів жорсткості стержневих елементів. У полі поряд зі списком відображається переріз з обраного у списку типу жорсткості або умовне позначення **EF** для жорсткостей, заданих чисельно.

### УВЕДЕННЯ НОВОГО ТИПУ ЖОРСТКОСТІ

При введенні нового типу жорсткості порядок дій наступний:

- призначити спосіб задавання жорсткості;
- вказівкою на закладку відкрити сторінку опису жорсткостних характеристик;
- увести необхідні дані;
- якщо задаються параметри пружної основи, то відкрити сторінку **Коефіцієнти пружної основи** й виконати необхідні призначення;

- натиснути кнопку **ОК** діалогового вікна;
- вибрати елементи, яким призначається встановлений тип жорсткості;
- натиснути кнопку **ОК** у розділі **Призначення**.

Якщо в момент призначення елементам жорсткісних характеристик активним є відповідний фільтр, результати роботи будуть показані на схемі (цифрами або колірною ідентифікацією елементів).

### ПАРАМЕТРИЧНІ ПЕРЕРІЗИ

Порядок введення даних у цьому режимі не регламентований. Однак, щоб уникнути помилок, краще виробити для себе якусь послідовність дій. Рекомендований наступний порядок уведення:

- активізувати сторінку **Параметричні перерізи** (рис. 1.108);
- увести значення модуля пружності й об'ємної ваги матеріалу або призначити їх зі списку матеріалів;
- увести розміри перерізу (зверніть увагу, на одиниці вимірювання перерізів стержневих елементів) і натиснути кнопку **Контроль**, що дозволить перевірити коректність введених даних;

- якщо необхідно, то активізувати сторінку **Коефіцієнти пружної основи** й задати необхідні характеристики;
- вийти з діалогового вікна, натиснув кнопку **ОК**.

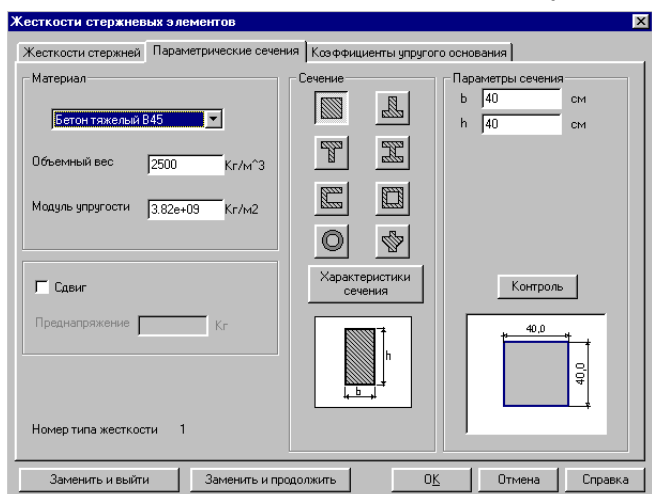


Рис. 1.108. Сторінка **Параметричні перерізи**

Після виконання цих операцій номер типу жорсткості буде призначений, а в інформаційному рядку внизу робочого поля екрана з'явиться відповідний надпис. Потім можна розпочати призначення встановленого типу жорсткості елементам схеми.

## ЧИСЕЛЬНИЙ ОПИС

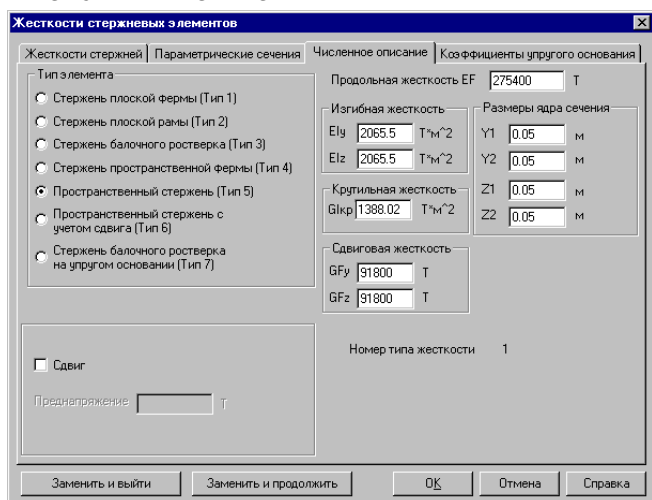


Рис. 1.109. Сторінка **Чисельний опис**

Ця сторінка (рис. 1.109) включає максимально необхідний набір полів введення, що дозволяють увести жорсткостні характеристики будь-якого типу стержня. У зв'язку з цим перш ніж увести значення характеристик, слід активізувати опцію відповідного типу елемента. Після цієї операції відкритими для введення залишаються тільки поля, заповнення яких для зазначеного типу елемента є

обов'язковим або допустимим.

При роботі з цією сторінкою зберігається описаний вище порядок задавання даних і призначення жорсткості елементам схеми.

## РОБОТА ІЗ СОРТАМЕНТОМ МЕТАЛОПРОКАТУ

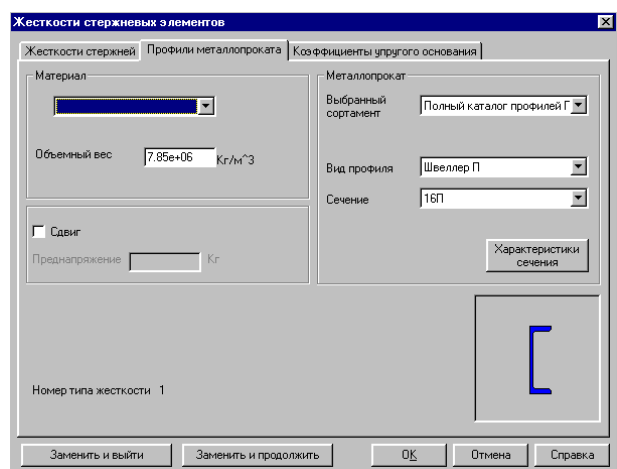


Рис. 1.110. Сторінка **Профілі металопрокату**

Порядок виконання операцій при задаванні стержням жорсткості, у відповідності до заданого профілю із сортаменту металопрокату, наступний:

- вибрати вид сталі зі списку матеріалів або ввести значення питомої ваги сталі у відповідний рядок групи **Матеріали**;
- зі списку **Вид профілю** вибрати вид прокату;
- зі списку **Переріз** вибрати необхідний за розмірами профіль;
- якщо необхідно, то активізувати сторінку **Коефіцієнти пружної основи** й задати необхідні характеристики;
- вийти з діалогового вікна, натиснув кнопку **ОК**.

Після виконання цих операцій номер типу жорсткості буде призначений автоматично й напис, що підтверджує це, з'явиться в інформаційному рядку внизу робочого поля екрана. Далі можна переходити до призначення встановленого типу жорсткості елементам схеми.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕРІЗУ

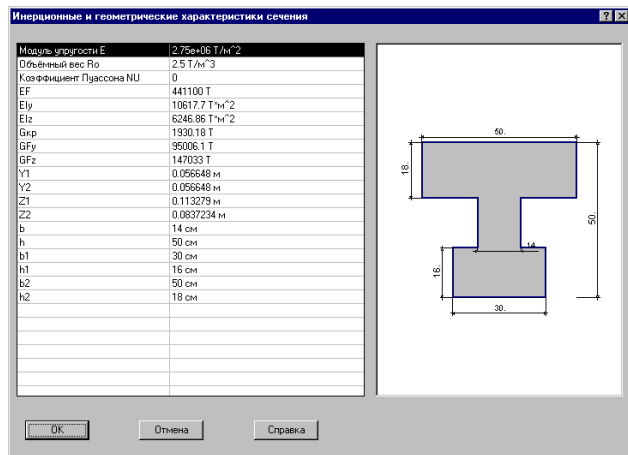


Рис. 1.111. Діалогове вікно **Інерційні та геометричні характеристики перерізу**

При задаванні жорсткості шляхом опису параметричних перерізів або через сортамент металопрокату є можливість переглянути чисельні характеристики перерізу. Для цього використовується кнопка **Характеристики перерізу**. Після натискання на цю кнопку відкривається діалогове вікно **Інерційні й геометричні характеристики перерізу** (рис. 1.111), у якому показано креслення перерізу й

наведено його жорсткості.

### ЧИСЛЕННО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ ОПИС

Цей вид опису дозволяє задати матеріал і розміри параметричного перерізу й одержати чисельні характеристики його жорсткості. В ці характеристики можна внести необхідні коригування, з врахуванням яких буде виконуватися розрахунок конструкції. В інших режимах, наприклад, при доборі арматури, використовуються задані форма й розміри перерізу.

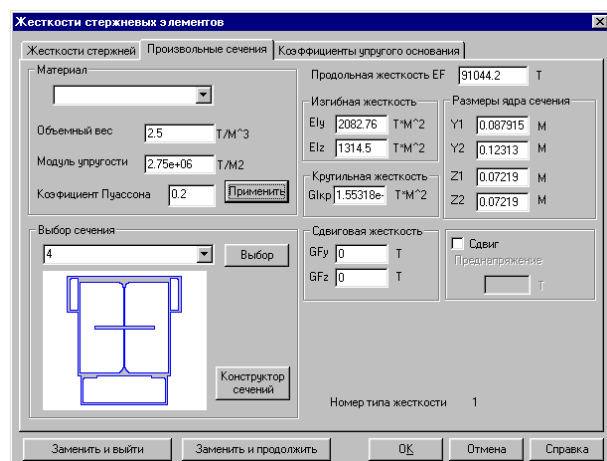
Діалогове вікно в цьому режимі включає сторінки **Жорсткості стержнів**, **Параметричні перерізи**, **Чисельний опис** і **Коефіцієнти пружної основи**.

### ДОВІЛЬНІ ПЕРЕРІЗИ

Опція **Довільний переріз** використовується для задавання жорсткостних характеристик елементам, перерізи яких були підготовлені за допомогою програми **Конструктор перерізів**.

У цьому режимі послідовність дій наступна:

- активізувати опцію **Довільний переріз**;
- на однойменній сторінці (рис. 1.112) у групі **Матеріал** вибрати матеріал або ввести характеристики матеріалу у відповідні поля введення;
- у групі **Вибір перерізу** натиснути кнопку **Вибір** і виконати пошук потрібного перерізу (файли з розширенням SEC);
- якщо переріз необхідно відкоригувати, то за допомогою кнопки **Конструктор перерізів** викликати однойменну програму і після коригування перерізу повторити попередню операцію;
- у тих випадках, коли потрібний переріз уже використовувався при призначенні жорсткостей елементів поточної розрахункової схеми, його можна вибрати зі списку в групі **Вибір перерізу**;



- натиснути кнопку **Застосувати**, після чого жорсткостні характеристики перерізу будуть записані у відповідні поля введення;
- вийти з діалогового вікна натиснувши кнопку **ОК**.

Рис. 1.112. Сторінка **Довільні перерізи**

Після виконання цих операцій номер типу жорсткості буде призначений і напис, що підтверджує це, з'явиться в інформаційному рядку внизу робочого поля екрана. Потім можна розпочати призначення встановленого типу жорсткості елементам схеми.

### ПРИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНОЇ ОСНОВИ

Задавання характеристик пружної основи виконується на сторінці **Коефіцієнти пружної основи** (рис. 1.113). Закладка цієї сторінки доступна для всіх видів опису жорсткостей. Поля введення даних розділені в залежності від наявності осей уздовж місцевих осей елемента  $Y_1$  і/або  $Z_1$ .

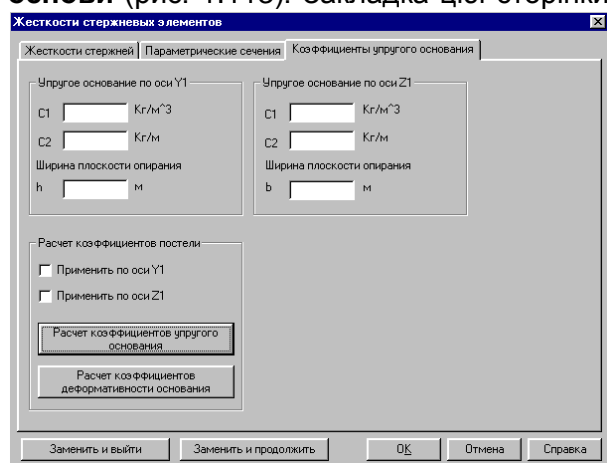


Рис. 1.113 Сторінка **Коефіцієнти пружної основи**

Функції обчислення коефіцієнтів постілі можуть бути викликані кнопками **Розрахунок коефіцієнтів пружної основи** або **Розрахунок коефіцієнтів деформативності основи** в залежності від виду фактора, що враховується.

Значення, отримані в результаті обчислення пружності основи або деформативності основи, автоматично переносяться у відповідні поля сторінки залежно від установлених опцій.

Слід урахувати, що реалізовані в комплексі функції розрахунків коефіцієнтів постілі не носять нормативний характер. Рішення про застосування отриманих значень повинен приймати користувач.

### КОРИГУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАДАНОГО РАНИШЕ ТИПУ ЖОРСТКОСТІ

Для коригування характеристик заданого раніше типу жорсткості необхідно:

- викликати діалогове вікно **Жорсткості стержневих елементів**;
- у списку **Тип жорсткості** встановити номер коригувального типу жорсткості;
- відкоригувати або додати необхідні характеристики;
- натиснути одну з кнопок заміни – **Замінити й вийти** або **Замінити й продовжити**. У першому випадку після заміни характеристик діалогове вікно буде закрито, а в другому – роботу з коригування можна продовжити.

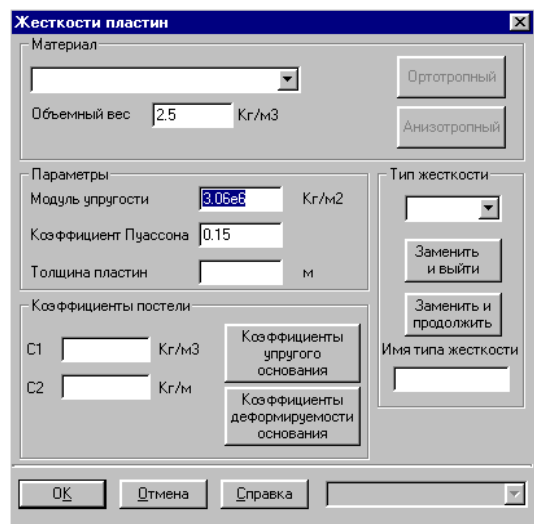
Після виконання описаних дій номер типу жорсткості не змінюється.

### ПРИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТАМ ТИПУ ЖОРСТКОСТІ, ЗАДАНОГО РАНИШЕ

Для призначення елементам типу жорсткості, уведеного раніше, необхідно:

- викликати діалогове вікно **Жорсткості стержневих елементів**;
- у списку **Тип жорсткості** встановити номер необхідного типу жорсткості;
- натиснути кнопку **ОК** (і вийти з вікна);
- призначити встановлений тип жорсткості елементам схеми.

### УВЕДЕННЯ Й ПРИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНАТИМ ЕЛЕМЕНТАМ



Для введення характеристик жорсткості пластинчастих елементів використовується діалогове вікно **Жорсткості пластин** (рис. 1.114), яке з'являється після натискання відповідної кнопки в розділі **Призначення** інструментальної панелі (рис. 1.106).

Рис. 1.114. Діалогове вікно **Жорсткості пластин**

У цьому вікні вводяться такі характеристики, як об'ємна вага матеріалу, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, товщина пластини і, якщо необхідно, характеристики пружної основи. Дії щодо введення

нових, коригування й призначення заданих раніше типів жорсткостей пластинчастих елементів не відрізняються від аналогічних дій при роботі зі стержнями й досить докладно описані в розділах, присвячених жорсткостям стержнів.

При введенні товщини пластини слід звернути увагу на те, що вона задається завжди в тих же одиницях, що й лінійні розміри. Значення об'ємної ваги, модуля пружності й коефіцієнта Пуассона можуть бути встановлені автоматично залежно від обраного матеріалу.

Функції обчислення коефіцієнтів постілі можуть бути викликані кнопками **Розрахунки коефіцієнтів пружної основи** або **Розрахунки коефіцієнтів деформативності основи** в залежності від виду врахованого фактора. Ці ж функції викликаються і з розділу меню **Сервіс**.

Слід урахувати, що реалізовані в комплексі функції розрахунку коефіцієнтів постілі не носять нормативний характер. Рішення про застосування отриманих значень повинен приймати користувач.

### **ПРИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄМНИМ ЕЛЕМЕНТАМ**

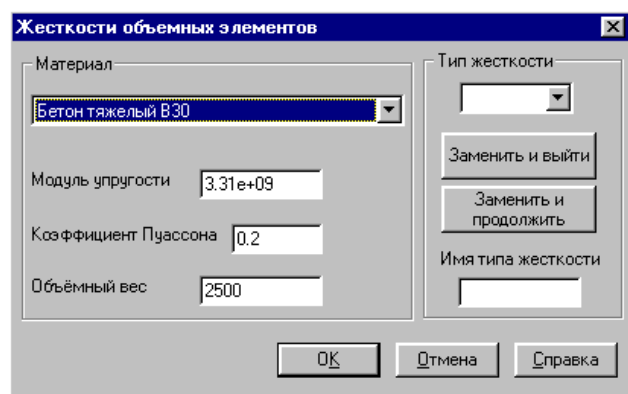


Рис. 1.115. Діалогове вікно **Жорсткості об'ємних елементів**

Уведення жорсткісних характеристик виконується в діалогові вікні **Жорсткості об'ємних елементів** (рис. 1.115). Оскільки характеристики жорсткості цього типу елементів включають тільки три параметри (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона й питома вага), то для автоматичного введення характеристик можна скористатися таблицею **Матеріали**.

### **ВИДАЛЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНИХ ТИПІВ ЖОРСТКОСТІ**



При виконанні операцій складання й копіювання з'являються еквівалентні типи жорсткості, що мають однаковий опис і відрізняються тільки номерами. При виконанні цієї операції відшукуються еквівалентні описи і видаляються номери типів жорсткості, які їх мали. Усім елементам, що мали однакові описи, автоматично надається загальний номер типу жорсткості.

### **ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ**

При введенні жорсткісних характеристик такі властивості матеріалів, як модуль пружності, об'ємна вага й коефіцієнт Пуассона можуть бути призначені автоматично. Для цього використовується список матеріалів, розміщений у розділі **Матеріал** діалогових вікон. Список може поповнюватися й змінюватися користувачами програми шляхом редагування файлу **material.txt**. Для коректування або підготовки нового списку можна скористатися редактором **WordPad**.

Значення величин вміщується в один рядок і розділяються одним або декількома пробілами, найменування матеріалу записується в лапках, довжина списку не обмежується. Одиниці вимірювання задаються в тоннах і метрах.

Список доступний у режимах задавання жорсткісних характеристик для стержневих, пластинчастих і об'ємних елементів.

#### **1.14.2 Призначення типу елемента**



Ця операція дозволяє призначити або замінити тип скінченних елементів. Для призначення типу елементів використовується однойменне діалогове вікно (рис. 1.116), яке викликається натисканням відповідної кнопки в розділі **Призначення** інструментальної панелі.



Рис. 1.116. Діалогове вікно Призначення типу елемента

Для вибору типу елемента в цьому вікні слід виконати такі операції:

- активізувати опцію з найменуванням відповідного виду елементів (стержні, оболонки тощо);
- зі списку типів елементів вибрати необхідний тип;
- натиснути кнопку **OK** діалогового вікна;

- вибрати на схемі елементи, яким призначається обраний тип, і виконати призначення, натиснувши кнопку **OK** в інструментальній панелі.

Перед тем, як призначити тип елемента, зверніть увагу на короткий опис, який виводиться в інформаційному полі діалогового вікна після вибору елемента зі списку, а також на піктограму із зображенням місцевих осей елемента. **Тип елемента повинен відповідати встановленому типу розрахункової схеми.** Правильний вибір типу елемента дозволить уникнути помилок при розв'язку завдань.

**Установлений тип буде призначений тільки тим елементам, які мають відповідну кількість вузлів.**

При включеному маркері **Врахування геометричної нелінійності** обраним елементам буде призначений тип, що дозволяє виконати розрахунки з урахуванням більших переміщень.

### 1.14.3 Задавання абсолютно жорстких вставок



У цьому режимі виконується призначення абсолютно жорстких вставок (недеформованих частин) стержневим елементам. Жорсткі вставки можуть бути описані двома способами: у загальній системі координат розрахункової схеми або в місцевій системі координат елемента за будь-яким напрямком. Для введення характеристик жорстких вставок використовується діалогове вікно **Жорсткі вставки** (рис. 1.117), у якому слід призначити спосіб опису вставок і ввести їхні довжини.

При введенні в місцевій системі координат місцева вісь  $X_1$  елемента проходить від вузла 1 до вузла 2, а довжини жорстких вставок задаються у вигляді довжин проєкцій на відповідні місцеві осі.

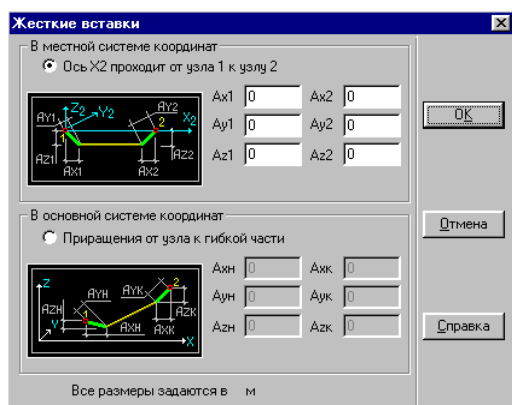



Рис. 1.117. Діалогове вікно Жорсткі вставки

При введенні в загальній системі координат довжини жорстких вставок задаються у вигляді проєкцій на осі загальної системи координат, тобто як вектори, спрямовані від вузла до гнучкої частини стержня.

Порядок задавання жорстких вставок уже добре знайомий з інших режимів роботи – увести довжини, вибрати елементи й натиснути кнопку **OK**.

Слід зазначити, що коригування довжин жорстких вставок або їх видалення зводиться фактично до їхнього нового призначення, причому в останньому випадку – з нульовою довжиною в усіх напрямках

**При відключеному фільтрі відображення жорстких вставок**  **на схемі показаний не елемент, а лінія, що з'єднує вузли. При наявності жорстких вставок ця лінія може не відповідати дійсному положенню елемента в схемі.**



### 1.14.4 Уведення й видалення шарнірів

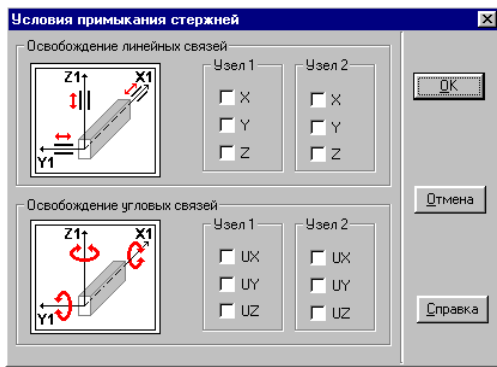


Рис. 1.118. Діалогове вікно **Умови примикання стержнів**



Для стержневих елементів можуть бути призначені умови примикання елемента до вузла розрахункової схеми у вигляді вільності взаємного повороту навколо осей місцевої системи координат (циліндричних шарнірів) або вільності взаємних лінійних зсувів уздовж цих осей (повзуни). За замовчуванням вважається, що такі незалежні переміщення неможливі в силу наявних зв'язків між елементом і вузлом. Призначення умов примикання виконується в діалоговім вікні **Умови примикання стержнів** (рис. 1.118), у якому відповідними кнопками встановлюються умови примикання в кожному з вузлів. Це ж вікно використовується й у тих випадках, коли нам треба змінити раніше задані умови примикання (але не скасувати все).

Для виконання цієї функції необхідно:

- призначити в діалоговому вікні умови примикання;
- натиснути кнопку **ОК** діалогового вікна;
- вибрати на схемі потрібні елементи;
- натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі.

Для скасування заданих умов примикання в усіх напрямках використовується спеціальна



кнопка, натискання на яку викликає діалогове вікно **Видалення шарнірів** (рис. 1.119). Тут поняття «шарнір» уведене як узагальнене й стосується як властиво шарнірів, так і повзунів.

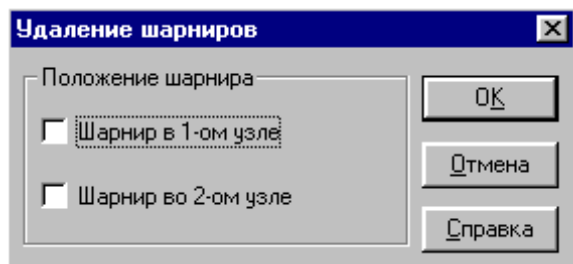


Рис. 1.119. Діалогове вікно **Видалення шарнірів**

В залежності від активних кнопок видалення буде виконано в одному або в обох вузлах стержня. Дії по видаленню аналогічні діям призначення – вибрати елементи й натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі.

Для відображення шарнірів на схемі використовується кнопка фільтрів .

### 1.14.5 Кути орієнтації головних осей інерції перерізу



Цей режим використовується, коли орієнтація головних осей інерції перерізу стержня не збігається із прийнятою за замовчуванням. Орієнтація може бути задана шляхом вказівки кута повороту осей (у градусах або радіанах) або призначенням координат точки, щодо якої розвертаються місцеві осі  $Y_1$  обраних елементів.

Керування режимом виконується за допомогою діалогового вікна **Орієнтація осей інерції** (рис. 1.120), яке викликається натисненням відповідної кнопки в розділі **Призначення** інструментальної панелі.

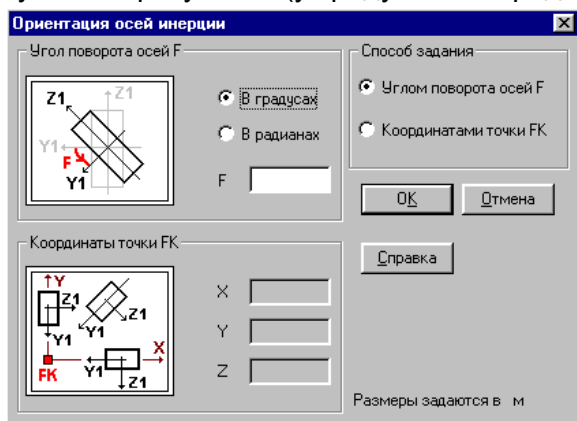



Рис. 1.120. Діалогове вікно **Орієнтація осей інерції**

У діалоговім вікні слід активізувати опцію способу задавання кутів (за замовчуванням - кут

повороту осей) і ввести необхідні дані. При введенні кута слід указати, у яких одиницях заданий кут – радіанах або градусах. Усі інші дії вже знайомі – натиснути кнопку **ОК** у діалоговому вікні, вибрати елементи й підтвердити операцію натисненням кнопки **ОК** в інструментальній панелі.

Для того щоб відновити значення кутів, прийнятих за замовчуванням, необхідно повторити операцію призначення, задавши при цьому кут  $0^\circ$ .

Коригування значень кутів повороту осей для заданого елемента може бути виконано шляхом виклику функції **Місцеві осі** у вікні **Інформація про елемент**. Вікно викликається

натисненням кнопки  панелі фільтрів.

#### 1.14.6 Призначення проміжних перерізів обчислення умов



Цей режим використовується, коли необхідно знати значення зусиль у проміжних точках по довжині стержня або у вузлах пластинчастих і об'ємних елементів (нагадаємо, що за замовчуванням зусилля обчислюються тільки на початку й кінці стержня й у центрі пластини). Знання зусиль у проміжних перерізах стержнів необхідно, наприклад, якщо передбачається виконувати добір арматури. Керування режимом виконується в діалогові вікні **Обчислення зусиль у додаткових перерізах** (рис. 1.121).

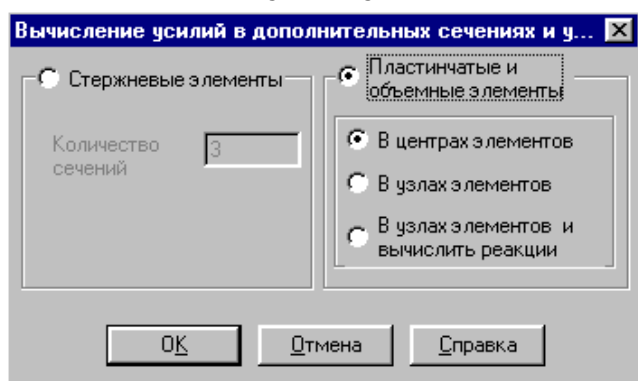


Рис. 1.121. Діалогове вікно **Обчислення зусиль в допоміжних перерізах**

У вікні слід активізувати опції, що визначають вид елементів (стержні або пластини), і призначити параметри: для стержнів – кількість перерізів (загальну, із включенням перерізу на початку й кінці стержня), для пластин і об'ємних елементів – вид виданої інформації.

Усі інші дії традиційні – натиснути кнопку **ОК** у діалогові вікні, вибрати елементи, натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі. Для зміни параметрів призначення необхідно повторити призначення з новими даними.

#### 1.14.7 Зміна напрямку місцевої осі $X_1$ стержнів на протилежний

За допомогою цієї операції можна поміняти напрям місцевої осі  $X_1$  стержневих елементів на протилежний, тобто фактично поміняти місцями перший і другий вузли елемента. Для виконання операції слід натиснути на відповідну кнопку в розділі **Призначення**, вибрати потрібні елементи й натиснути кнопку **ОК**.

#### 1.14.8 Призначення зв'язків у вузлах

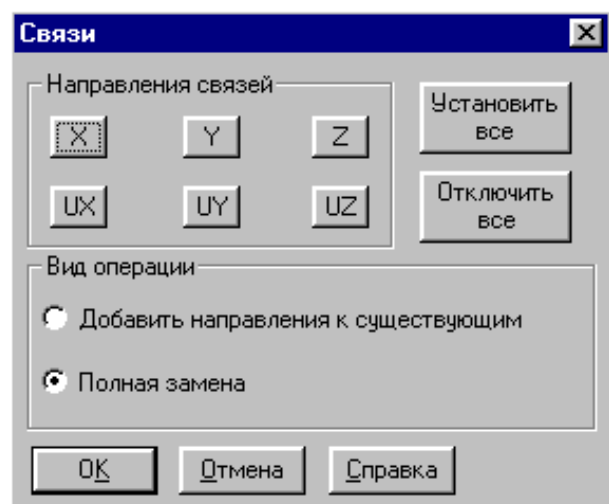



Рис. 1.122. Діалогове вікно **Задавання в'язей у вузлі**



Зв'язки у вузлах розрахункової схеми призначаються в діалоговому вікні **Зв'язки** (рис. 1.122), яке викликається натисканням відповідної кнопки в розділі **Призначення** інструментальної панелі. Для призначення зв'язків у вузлі слід вибрати за допомогою відповідних кнопок напрямки ступенів вільності, за якими накладаються зв'язки, натиснути кнопку **ОК** у діалогові вікні, вибрати на схемі вузли й виконати операцію натисканням кнопки

**OK** у розділі **Призначення**.

В залежності від встановленого у вікні режиму зв'язки у вузлах будуть повністю замінені (вилучені, якщо відключені всі кнопки напрямків) або додані до раніше призначених.

Для відображення зв'язків на схемі можна скористатися кнопкою фільтрів .

### 1.14.9 Об'єднання переміщень

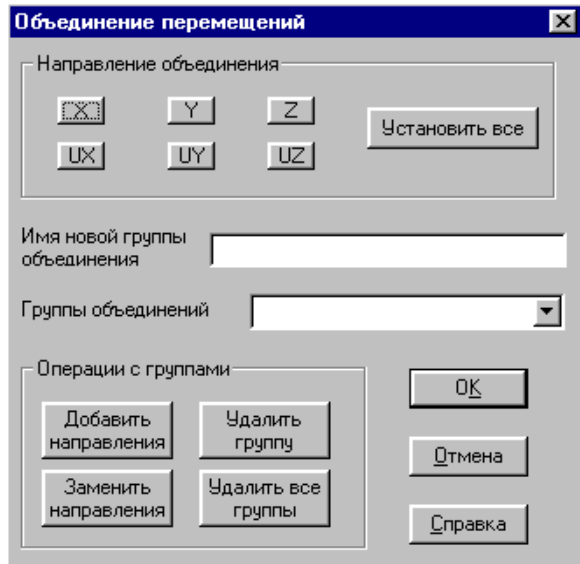


Рис. 1.123. Діалогове вікно **Об'єднання переміщень**




Об'єднання переміщень вузлів розрахункової схеми виконується для іменованих груп вузлів і призначається за допомогою діалогового вікна **Об'єднання переміщень** (рис. 1.123). У ньому задаються напрямки ступенів вільності, за якими об'єднуються переміщення групи і вводяться імена груп.

Для виконання операції слід установити за допомогою відповідних кнопок напрямки ступенів вільності, за якими об'єднуються переміщення, задати ім'я групи (бажано, щоб групи мали унікальні імена), підтвердити задані установки

натисканням кнопки **OK** діалогового вікна, вибрати на схемі вузли, які входять у групу, і виконати операцію, натиснувши кнопку **OK** в інструментальній панелі.

Для скасування заданих призначень (видалення групи) слід активізувати режим об'єднання переміщень, вибрати ім'я групи, що видаляється, зі списку **Групи об'єднань** і натиснути кнопку **Вилучити групу**. Коригування груп виконується шляхом їхнього видалення й уведення

нових груп. Для відображення груп на схемі можна використати кнопку фільтрів .

### 1.14.10 Напруження уздовж заданого напрямку

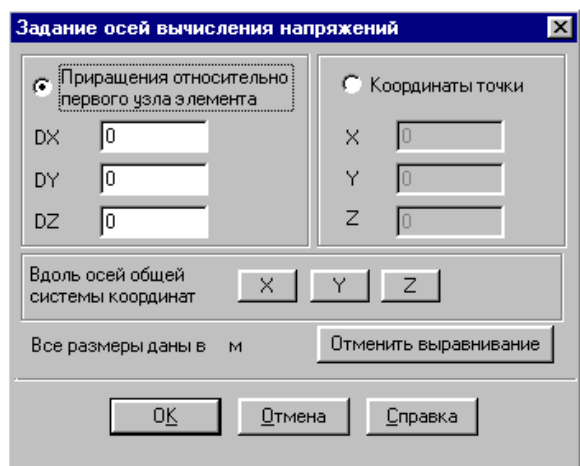


Рис. 1.124. Діалогове вікно **Задання осей обчислення напружень**



У цьому режимі забезпечується можливість задавання осей обчислення напружень, відмінних від місцевої системи координат елемента. Це особливо важливо, коли передбачається виконувати добір арматури для ділянки або всієї схеми, а сітка скінченних елементів носить нерегулярний характер (наприклад, після триангуляції). У зв'язку із цим напрямки вирівнювання напружень

рекомендується погодити з орієнтацією арматурних сіток.

Крім того, невпорядкованість напрямків місцевих осей елементів не дозволяє коректно побудувати ізолінії й ізополя силових факторів. Для не вирівняних напружень вони просто втрачають суть.

Режим дозволяє:


- призначити напрямок осі X обчислення напружень у загальній системі координат. При цьому задана вісь проектується на площину елемента, а вісь Y лежить у площині елемента й проходить перпендикулярно до отриманої проекції;

- призначити точку. Проекція лінії на площину елемента, що з'єднує цю точку з першим вузлом елемента, визначає вісь X обчислення напружень, а вісь Y лежить у площині елемента й проходить перпендикулярно до отриманої проекції;
- призначити напрямок осі X обчислення напружень у вигляді приросту по відношенню до першого вузла елементів.

Осі обчислення напружень задаються в діалоговому вікні **Задавання осей обчислення напружень** (рис. 1.124). Вісь X видачі напружень може бути задана приростами щодо першого вузла елемента, координатами точки або явною вказівкою вісі загальної системи координат.

Після активізації опції й задавання в діалоговому вікні необхідних даних слід вибрати на схемі елементи, що входять у фрагмент, для якого застосовуються виконані призначення, і натиснути кнопку **OK** у розділі **Призначення**.

Для скасування виконаних призначень необхідно встановити режим задавання осей і натиснути в діалогові вікні на кнопку **Скасувати вирівнювання**. Після виходу з вікна вибрати на схемі елементи, у яких напрямок осей видачі напружень повинен збігатися з напрямком місцевих осей, і натиснути кнопку **OK**.

Відображення напрямку осей видачі зусиль на розрахунковій схемі може бути отримана за допомогою кнопки фільтрів .

На рис. 1.125 наведено приклад розрахункової схеми, у якій для лівої частини схеми (у ній елементи розташовані ортогонально щодо загальної системи координат) задані осі X видачі зусиль уздовж напрямку осі X загальної системи координат, а для правої (розгорнутої частини схеми) задавання осей виконане шляхом уведення приростів щодо першого вузла елемента ( $1 - 0.577\ 0$ ), що відповідає куту  $\approx 30^\circ$ .

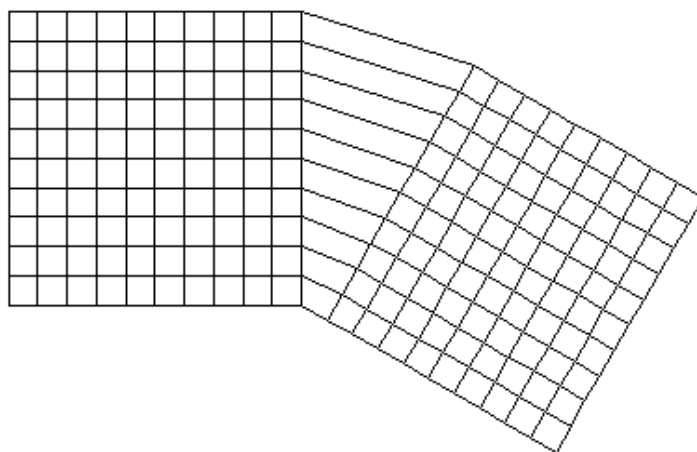



Рис. 1.125. Приклад розрахункової схеми

#### 1.14.11 Зміна напрямку місцевої осі $Z_1$ пластинчастих елементів



Ця операція дозволяє змінити напрямок місцевої осі  $Z_1$  у пластинчастих елементах на протилежний. Для виконання операції досить після її активізації вибрати на схемі потрібні елементи й натиснути кнопку **OK** в інструментальній панелі. Колірною або векторною індикацією

напрямку осей може бути отримана за допомогою кнопки фільтрів .

#### 1.14.12 Призначення геометрично нелінійних елементів.



Після активізації цієї операції слід вибрати на схемі елементи й натиснути кнопку **OK** в інструментальній панелі. Обрані елементи призначені для обліку більших переміщень при виконанні нелінійного розрахунку. Номера типів елементів будуть утворені шляхом додавання

до номера типу лінійного елемента числа 300 (наприклад, елемент типу 44 буде перетворений в 344 тощо).

Нагадаємо, що бібліотека геометрично нелінійних елементів включає всі типи стержнів і оболонки.

#### 1.14.13 Односторонні зв'язки



Ця операція використовується для введення й задавання характеристик одновузлових або двовузлових елементів односторонніх зв'язків, які дозволяють моделювати взаємні контакти фрагментів схеми, схеми з іншою конструкцією або основою. Елементи цього типу використовуються тільки при виконанні нелінійного розрахунку.

Після активізації операції з'являється діалогове вікно **Односторонні зв'язки** (рис. 1.126), в якому призначається вид зв'язку, його характеристики, напрям дії, а також характеристики вихідного стану.

Характеристики в'язі визначають її поздовжню жорсткість  $EF$ , а також умови роботи (стиск або розтяг).

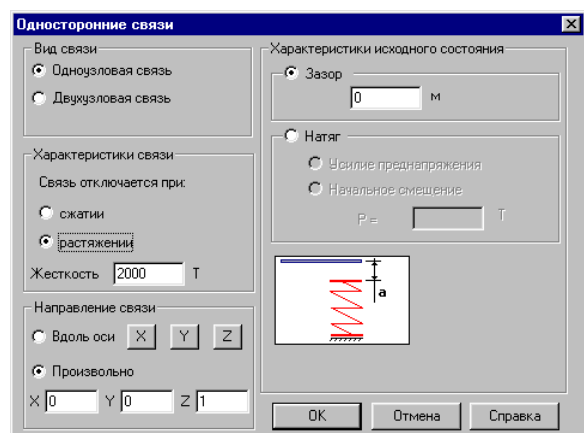


Рис. 1.126. Діалогове вікно **Односторонні зв'язки**

Напрямок зв'язку для одновузлових елементів задається в загальній системі координат, а для двовузлових у місцевій. Задавання обмежень переміщень в одному вузлі за двома і більше напрямкам моделюється введенням декількох елементів.

Вихідний стан зв'язку визначається введенням зазору або натягу. Причому натяг можна задати як зусиллям попереднього напруження, так і початковим зсувом.

Після призначення характеристик і виходу з діалогового вікна виконується введення елементів. Для введення одновузлових зв'язків слід вибрати на розрахунковій схемі вузли, у яких вони встановлюються, і натиснути кнопку **ОК** в інструментальній панелі. Двовузлові зв'язки вводяться аналогічно стержневим елементам. При цьому їхня місцева вісь  $X_1$  буде спрямована від першого обраного вузла до другого. Коректування характеристик однобічних зв'язків виконується з колірної шкали жорсткостей.

## 1.15. Задавання схем навантажень

Розглянемо різні функції задавання схем завантажень для виконання статичного і динамічного розрахунків. Керування цими функціями зосереджено в розділі **Завантаження** інструментальної панелі (рис. 1.127).

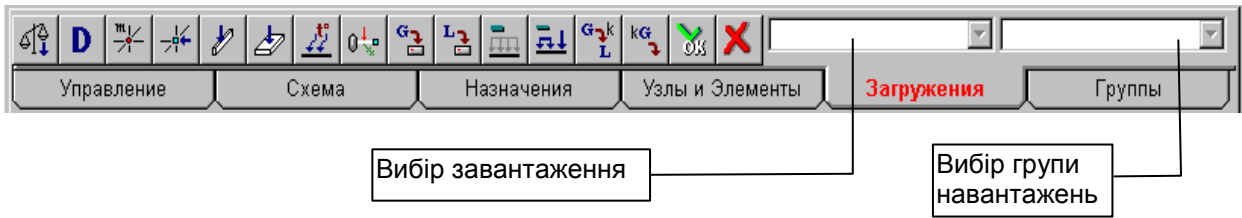
















Рис. 1.127. Розділ **Завантаження** інструментальної панелі

Навантаження, що діють на конструкцію, можуть бути задані у вигляді вузлових сил і моментів, а також місцевих зосереджених, трапецієвидних і розподілених сил і моментів. Завантаження може включати у себе комбінацію навантажень будь-якого виду і характеризується номером та ім'ям. Якщо якісь комбінації навантажень зустрічаються в декількох завантаженнях, то у процесі формування завантажень можуть бути створені **Групи навантажень**, що включатимуть ці комбінації. Групи зберігаються під даними їм іменами і можуть додаватися в будь-які завантаження.

В розділ **Завантаження** включені наступні операції:

-  – автоматичне задавання власної ваги;
-  – задавання вузлових навантажень;
-  – задавання навантажень на стержневі елементи;
-  – задавання навантажень на пластинчаті елементи;
-  – задавання температурних навантажень;
-  – задавання впливів у від заданих переміщень;
-  – запис групи навантажень;
-  – запис завантаження;
-  – очистка схеми від навантажень;
-  – видалення навантажень;
-  – ввід параметрів динамічних навантажень;
-  – задавання динамічних навантажень;
-  – збір навантажень з груп навантажень;
-  – призначення коефіцієнтів групам навантажень.

### 1.15.1 Задавання статичних навантажень

Загальний порядок задавання навантажень для статичних завантажень:

- за допомогою кнопок інструментальної панелі вибрати види навантажень (вузлові, місцеві на стержні або пластини);
- в діалоговому вікні призначити вид, напрямок і значення навантажень;
- вибрати вузли або елементи, на які встановлюються навантаження;
- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Завантаження**;
- повторити описані вище операції і для інших навантажень, що входять в поточне завантаження;
- після призначення всіх навантажень поточного завантаження натиснути кнопку **Запис завантаження**;
- в діалоговому вікні увести ім'я завантаження і натиснути кнопку **ОК** (номер завантаження буде призначено автоматично, про що сповіщатиметься в інформаційному вікні);
- натиснути кнопку **Зняти всі навантаження**, якщо хочемо ввести нове завантаження.

Необхідно відзначити, що «найвідповідальнішими функціями» є запис завантаження і очищення всіх встановлених навантажень. Якщо завантаження в явному вигляді не записати, то система «не дізнається» про його існування. Це пов'язано з тим, що у момент призначення навантажень на схему дані про навантаження потрапляють в так звану буферну пам'ять. Вся подальша доля навантажень залежить цілком від користувача. На їх основі може бути створено нове завантаження, їх можна записати на місце раніше сформованого завантаження і, нарешті, їх можна зберегти як групу навантажень.

Функція очищення всіх встановлених навантажень виконує очищення буферної пам'яті і не зачіпає вже записане завантаження. Її основне призначення – підготувати схему до введення нового завантаження. Якщо перед введенням нового завантаження пам'ять не очистити, то навантаження, що задаються, будуть додані до встановлених раніше. Після виконання функції запису завантаження поміщається в список **Вибір завантаження** в інструментальній панелі і, якщо необхідно, відкоригувати його або перевірити задані навантаження, то «дістати» потрібне завантаження можна лише звертаючись до цього списку.

### АВТОМАТИЧНЕ ЗАДАВАННЯ ВЛАСНОЇ ВАГИ



Ця функція виконується лише в тому випадку, якщо задані жорсткісні характеристики елементів. При цьому жорсткості стержневих елементів мають бути описані за допомогою параметричних перерізів або у вигляді посилань на сортамент металопрокату. Власна вага елементів обчислюється як добуток площі поперечного перерізу стержнів або товщини пластини на об'ємну вагу матеріалу.

Навантаження від власної ваги моделюються у вигляді місцевих розподілених сил, що діють за напрямком осі Z загальної системи координат. Для відображення навантажень

використовується кнопка фільтрів

Для задавання власної ваги в одному завантаженні необхідно натиснути кнопку **Власна вага** лише один раз. Інакше навантаження буде додано багато разів.

### ВУЗЛОВІ НАВАНТАЖЕННЯ

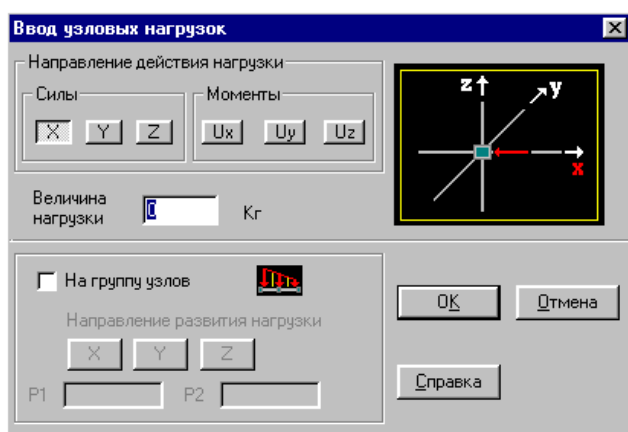


Рис. 1.128. Діалогове вікно **Введення вузлових навантажень**



Задавання напрямку і значень вузлових навантажень виконується в діалоговому вікні **Введення вузлових навантажень** (рис. 1.128), яке з'являється після натиснення відповідної кнопки в розділі **Завантаження** інструментальної панелі. Залежно від вибраного напрямку навантаження

в діалоговому вікні демонструється піктограма, що вказує позитивний напрям дії навантаження.

Порядок уведення навантажень відповідає описаному вище і не повинен викликати труднощів. Якщо вузли відмічаються курсором одиночного вибору, то при попаданні в мішень декількох вузлів їх список виводитиметься в спеціальному діалоговому вікні **Вузли в мішені курсору** (рис. 1.129). Якщо послідовно вказувати на номери вузлів в списку цього вікна, то вказаний вузол виділятиметься на схемі червоним кольором, а його координати – виводитимуться в полях **Координати вузла**. Зупинившись таким чином на потрібному вузлі, слід натиснути кнопку **Відмітити** й тим самим підтвердити вибір.

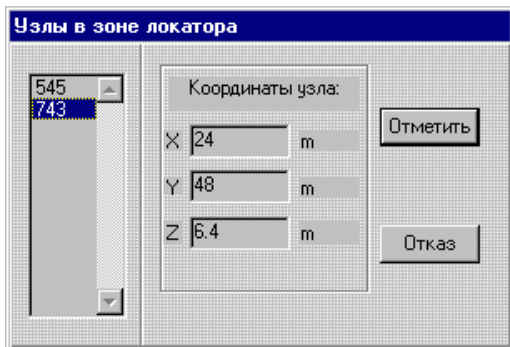


Рис. 1.129. Діалогове вікно **Вузли в мішені курсору**

Призначення вузлових навантажень передбачає можливість задавання навантажень гідростатичного типу на групу вибраних вузлів, закон їх зміни за просторовою координатою є лінійним і відповідає «глибині водоймища». «Глибина водоймища» може бути задана в будь-якому напрямі.

При введенні таких навантажень в кожен вузол їх величина, змінюватиметься за лінійним законом від заданого початкового значення до кінцевого в залежності від координати кожного вузла у вказаному напрямі розвитку (напрямок зростання «глибини» призначається користувачем).

### НАВАНТАЖЕННЯ НА СТЕРЖНЕВІ ЕЛЕМЕНТИ

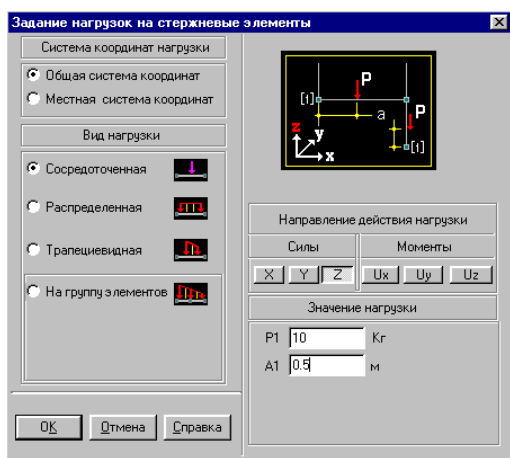


Рис. 1.130. Діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневі елементи**



Задавання виду, напрямку і значення навантажень виконується в діалоговому вікні **Задавання навантажень на стержневі елементи** (рис. 1.130), яке з'являється після натиснення кнопки **Навантаження на стержні** в розділі **Завантаження інструментальної панелі**.

У вікні слід встановити систему координат, в якій задається навантаження (загальна або місцева), вид навантаження (зосереджене, розподілене, трапецієвидне), ввести значення навантаження і його прив'язку (для розподілених навантажень прив'язка не задається). У вікні демонструється піктограма, що вказує позитивний напрям дії навантаження. Після натиснення кнопки **ОК** в діалоговому вікні можна розпочати призначення введеного навантаження на елементи схеми.

### НАВАНТАЖЕННЯ НА ПЛАСТИНИ



Задавання виду, напрямку і значення навантажень виконується в діалоговому вікні **Задавання навантажень на пластинчаті елементи** (рис. 1.131), яке відкривається після натиснення кнопки **Навантаження на пластини** в інструментальній панелі **Завантаження** (див. рис. 1.127). У вікні слід встановити систему координат, в якій задається навантаження (загальну або місцеву), навантаження (зосереджене, розподілене, трапецієвидне), ввести значення навантаження і його прив'язку (для розподілених і трапецієвидних навантажень прив'язка не задається). У діалоговому вікні демонструється піктограма, що показує позитивний напрям дії навантаження.



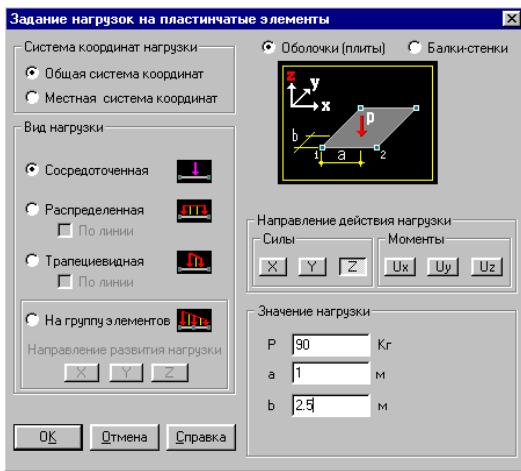


Рис. 1.131. Діалогове вікно **Задання навантажень на пластинчаті елементи**

Оскільки для балок-стінок прийнята відмінна від плит і оболонок система опису місцевих осей, то при заданні навантажень на балки-стінки в місцевій системі координат бажано встановлювати кнопку управління виведенням піктограм в режим **Балки-стінки**.

Після натиснення кнопки **ОК** в діалоговому вікні можна приступити до призначення навантаження на елементи схеми. Перед початком введення навантажень бажано включити відповідний фільтр

відображення.

Правила задання і відображення «гідростатичних навантажень» повністю збігаються з правилами, визначеними для вузлів і стержнів. При введенні зосереджених навантажень програма виконує контроль прив'язки навантажень у межах елемента. Якщо навантаження не потрапляє на елемент, видається повідомлення і відмічаються на схемі елементи, в яких допущена помилка прив'язки. Список елементів з некоректно заданою прив'язкою навантаження приводиться в діалоговому вікні **Некоректна операція** (рис. 1.132). На всі інші елементи навантаження буде задано.

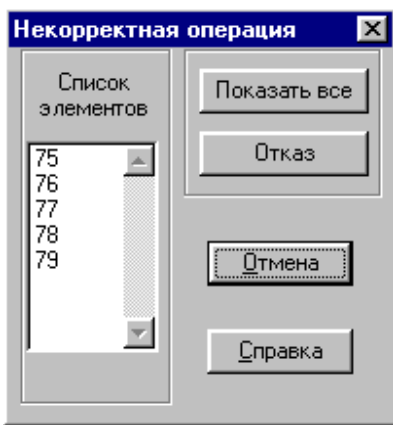


Рис. 1.132. Діалогове вікно **Некоректна операція**

Навантаження на пластинчасті елементи може бути задане і розподілене за лінією, яка з'єднує два вказаних користувачем вузла елемента. Для задання такого навантаження необхідно:

- у діалоговому вікні призначити вид навантаження (рівномірно розподілене або трапецієвидне) і активізувати відповідну кнопку **За лінією**;
- встановити напрям і ввести величину навантаження;
- натискувати кнопку **ОК** в діалоговому вікні;
- вибрати на схемі елементи, до вузлів яких прив'язується

навантаження;

- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Завантаження**;
- у діалоговому вікні **Призначення вузлів прив'язки навантаження за лінією** (рис. 1.133) призначити вузли, до яких прив'язується навантаження (вузли обводяться на схемі зеленим і жовтим кільцями для першого і другого вузлів прив'язки відповідно);
- натиснути кнопку **Призначити тільки вибраному елементу** або **Повторити для всіх вибраних елементів**.

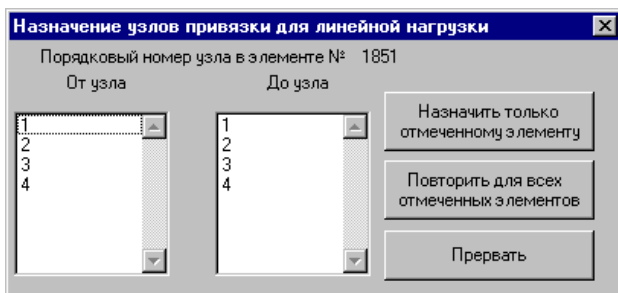


Рис. 1.133. Діалогове вікно **Призначення вузлів прив'язки навантаження за лінією**

В разі використання кнопки **Призначити тільки вибраному елементу** навантаження буде призначено одному елементу (його номер вказаний у вікні). Після призначення

маркер вибору цього елемента буде погашений і управління перейде до наступного за порядком елемента. Якщо була натиснута кнопка **Повторити для всіх вибраних елементів**, то навантаження буде автоматично призначено всім вибраним елементам. При цьому необхідно бути упевненим, що положення вузлів, між якими задається навантаження, у всіх вибраних елементах відповідає замислу навантаження.

## ТЕМПЕРАТУРНІ НАВАНТАЖЕННЯ

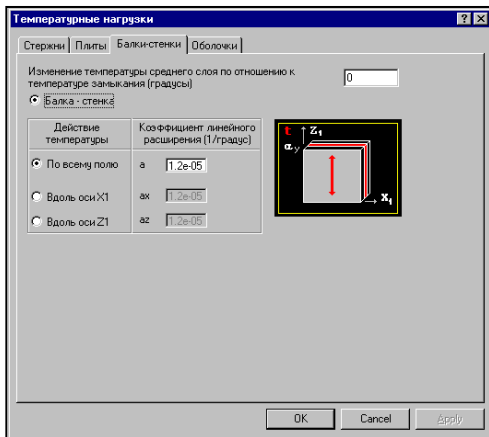



Рис. 1.134. Діалогове вікно **Температурні навантаження** (активна закладка **Балка-стінка**)



Введення температурних навантажень виконується в залежності від типу елемента. Величини і вид навантажень призначаються в багатосторінковому діалоговому вікні **Температурні навантаження**, в якому кожному типові елементу відповідає своя закладка (рис. 1.134).

Для введення навантажень потрібно:

- натиснути кнопку **Температурні навантаження** в розділі **Завантаження** інструментальної панелі;
- активізувати закладку, що відповідає типові елементів, яким призначаються навантаження;
- активізувати опцію з найменуванням типу елемента;
- активізувати опцію з найменуванням виду навантаження;
- ввести значення параметрів навантаження;
- вийти з діалогового вікна, натиснув кнопку **OK**;
- вибрати на схемі елементи, яким призначається введений тип навантаження;
- натиснути кнопку **OK** в інструментальній панелі.

Якщо при призначенні навантажень натиснута кнопка фільтрів **Температурні навантаження** , на схемі будуть відображатися введені навантаження.

### 1.15.2 Видалення навантажень



Для видалення навантажень з поточного завантаження або всього завантаження використовується функція, яка активізується кнопкою **Видалення навантажень** в розділі **Завантаження** інструментальної панелі. Вибір операції видалення виконується в діалоговому вікні **Видалення навантажень** (рис. 1.135).

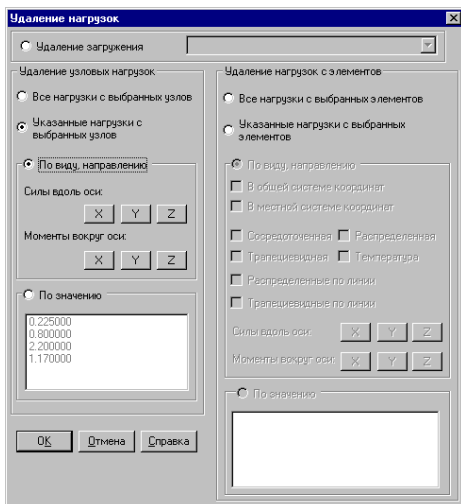


Рис. 1.135. Діалогове вікно **Видалення навантажень**

Для видалення завантаження необхідно вибрати його в списку завантажень і натиснути кнопку **OK** в діалоговому вікні. При цьому із завантаження, що видаляється, виключаються всі задані в ньому навантаження, а завантаження формально залишається. Це пов'язано з можливими посиланнями на це завантаження у вихідних даних для обчислення розрахункового поєднання зусиль, комбінацій завантажень тощо.

Для видалення всіх навантажень з вибраних вузлів або елементів потрібно:

- активізувати в діалоговому вікні опцію з найменуванням виконуваної операції (*Всі навантаження з вибраних вузлів* або *Всі навантаження з вибраних елементів*);
- натиснути кнопку **OK** (діалогове вікно закриється);
- вибрати на схемі елементи або вузли, з яких видаляються навантаження;
- натискувати кнопку **OK** в розділі **Завантаження**.

Навантаження можна видалити вибірково, вказавши його вид і напрям. Для цього необхідно:



- активізувати в діалоговому вікні опцію з найменуванням виконуваної операції (*Вказані навантаження з вибраних вузлів або Вказані навантаження з вибраних елементів*);
- активізувати опцію *За видом, напрямком*;
- встановити за допомогою кнопок або маркерів параметри навантаження, що видаляється;

- натиснути кнопку **ОК** (діалогове вікно закривається);
- вибрати на схемі елементи або вузли, з яких видаляються навантаження;
- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Завантаження**.

І, нарешті, можна видалити навантаження певного значення, виконавши наступні дії:

- активізувати в діалоговому вікні опцію з найменуванням виконуваної операції (*Вказані навантаження з вибраних вузлів або Вказані навантаження з вибраних елементів*);
- активізувати опцію *За призначенням*;
- відмітити в списку значення навантажень, що видаляються;
- натиснути кнопку **ОК** (діалогове вікно закриється);
- вибрати на схемі елементи або вузли, з яких видаляються навантаження;
- натиснути кнопку **ОК** в розділі **Завантаження**.

Існує ще одна можливість видалити навантаження, реалізована в режимі отримання

інформації про вузол або елемент (кнопки фільтрів  і  відповідно). В цьому випадку навантаження можна видалити вибірково.

Після активізації одного з цих режимів і вибору об'єкту (вузла або елемента) відкриється діалогове вікно з досить повною інформацією про цей об'єкт. У цьому вікні встановлена кнопка **Навантаження**, натисненням якої відкривається діалогове вікно зі списком всіх навантажень, прикладених до досліджуваного об'єкту у всіх завантаженнях (рис. 1.136 і 1.137). Окрім контролю виду, напрямку і значення навантажень в цьому вікні можна виконати і їх видалення. Єдине обмеження – навантаження можна видаляти лише з поточного завантаження. Для видалення навантаження досить помітити в списку рядок з найменуванням навантаження (він повинен мати ознаку **Поточне завантаження**), що видаляється, і натиснути кнопку **Видалення навантаження**.

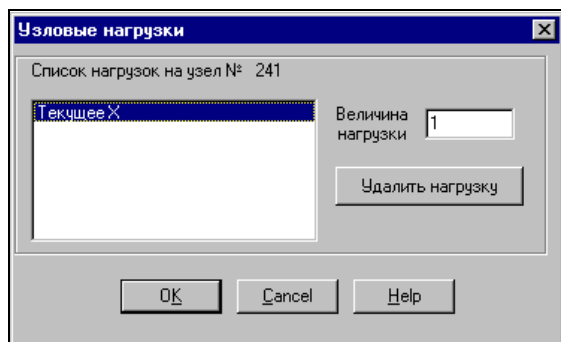


Рис. 1.136. Діалогове вікно **Вузлові навантаження**

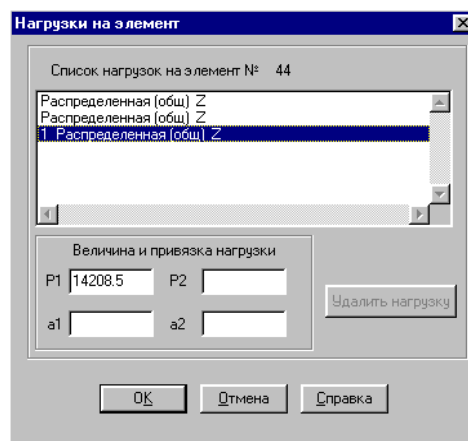



Рис. 1.137. Діалогове вікно **Навантаження на елемент**

### 1.15.3 Групи навантажень

Групи навантажень – це аналоги завантажень, які відрізняються від останніх тим, що, по-перше, вони не враховуються в розрахунку як завантаження, а використовуються лише на стадії формування завантажень і, по-друге, можуть бути додані в будь-яке завантаження. Найчастіше групи навантажень використовуються в тих випадках, коли деякий набір навантажень на вузли і елементи включається в декілька завантажень. Для створення груп:

- використовуючи кнопку **Зняти всі навантаження**, скинути поточне завантаження і очистити буферну пам'ять;
- ввести навантаження, які треба помістити в групу;



- натиснути кнопку **Запис групи навантажень** ;
- у діалоговому вікні, що відкрилося, **Зберегти групу навантажень** (рис. 1.138) ввести ім'я групи (ім'я обов'язкове, оскільки групи номерів не мають) і натиснути кнопку **ОК**.

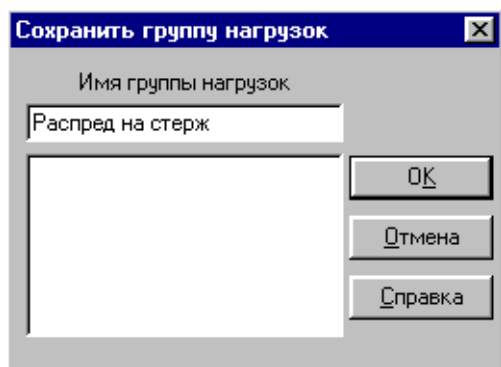





Рис. 1.138. Діалогове вікно **Зберегти групу навантажень**

Після виконання цих операцій найменування введеної групи потрапляє в список **Вибір групи навантажень** інструментальної панелі.

Для включення групи в завантаження достатньо вибрати із списку потрібну групу. В одне завантаження можна включати будь-яку кількість груп. Якщо в якості групи виступає ціле завантаження, то його можна записати і як завантаження і як групу.

Перед створенням нового завантаження або групи навантажень необхідно зберегти поточне завантаження  або групу навантажень  і після цього очистити схему від навантажень .

### ЗАДАВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРУП ВУЗЛІВ І ЕЛЕМЕНТІВ

Групи вузлів і елементів можуть бути ефективно використані при задаванні навантажень. Якщо при підготовці розрахункової схеми частина елементів в різних завантаженнях отримує однакові навантаження, то ці елементи зручно об'єднувати в групи. Перед призначенням навантаження слід вибрати потрібну групу, ввести параметри навантаження і натиснути кнопку **ОК** в розділі **Завантаження** інструментальної панелі.

### ЗБИРАННЯ ЗАВАНТАЖЕНЬ З ГРУП НАВАНТАЖЕНЬ



Збирання завантажень з груп навантажень виконується в однойменному діалоговому вікні. Воно включає дві сторінки. Перша **Включення групи в завантаження** (рис. 1.139) дозволяє додати в різні завантаження групу навантажень із заданим коефіцієнтом. Для виконання цієї операції необхідно:

- зі списку **Групи навантажень** вибрати групу, яка включається в одне або декілька завантажень;
- у таблиці активізувати маркери завантажень, в які включається вибрана група;
- ввести коефіцієнти, з якими група входить в завантаження;
- натиснути кнопку **Виконати**.

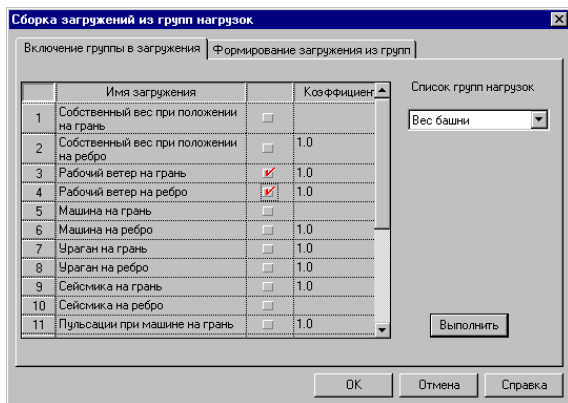


Рис. 1.139. Сторінка **Включення групи в завантаження**

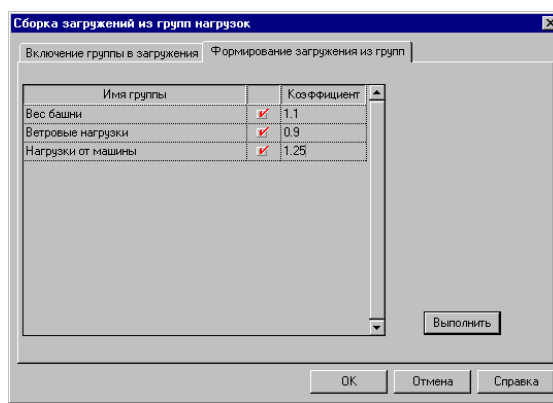


Рис. 1.140. Сторінка **Формування завантаження з груп**

Друга - **Формування завантаження з груп** (рис. 1.140) призначена для формування нового завантаження з груп навантажень. При цьому кожна група може входити в завантаження зі своїм коефіцієнтом. Для виконання цієї операції необхідно:

- у таблиці активізувати маркери груп, з яких формується завантаження;
- призначити цим групам коефіцієнти;
- натиснути кнопку **Виконати**.

Після виходу з діалогового вікна нове завантаження необхідно зберегти, скориставшись



кнопкою **Зберегти/Додати завантаження**

### **ПРИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ГРУПАМ НАВАНТАЖЕНЬ**

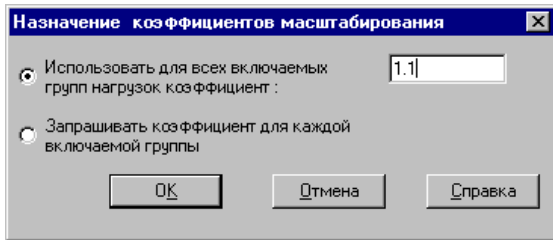


Рис. 1.141. Діалогове вікно **Призначення коефіцієнтів масштабування**



Ця операція дозволяє призначити коефіцієнти групам, які додаються в завантаження традиційним способом, тобто шляхом їх вибору із списку в інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Призначення коефіцієнтів масштабування** можна вибрати режим призначення – використовувати введене значення коефіцієнта для всіх груп, що додаються, або запитувати коефіцієнт для кожної групи. У другому випадку після вибору групи із списку з'являється діалогове вікно **Коефіцієнт масштабування навантаження** (рис. 1.142), у якому задається коефіцієнт для вибраної групи.

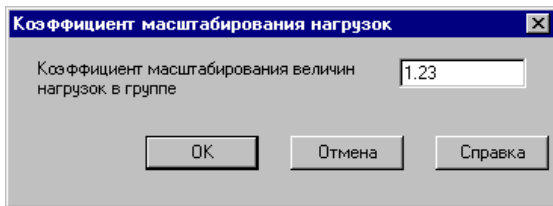


Рис. 1.142. Діалогове вікно **Коефіцієнт масштабування навантажень**

### **Контрольні запитання:**

1. Які навантаження на будівлі існують?
2. Як виконати автоматичне задавання власної ваги?
3. Як задати навантаження на пластини?
4. Як видалити навантаження?
5. Як задати температурне навантаження?
6. Що таке нормативне навантаження?
7. Що таке розрахункове навантаження?
8. Дайте визначення «постійним навантаженням».
9. Дайте визначення «тимчасовим навантаженням».
10. В чому різниця «довготривалих» навантажень від «короткочасних»?

# Частина II. ПРИКЛАДИ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ ТА НАЙПОШИРЕНІШИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ SCAD

## 2. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану стержневих систем

### 2.1. Плоскі стержневі системи

#### Вихідні дані

Розрахункова схема системи і характер зовнішнього навантаження представлені на рис. 2.1.

Рама прикріплена до «землі» за допомогою чотири опор (жорсткого затиснення в точках 1 і 2; шарнірно-нерухомої опори в точці 7; плаваючого затиснення в точці 8);

Стержні 7-3 і 4-8 мають в вузлах 3 і 4 відповідно, шарнірно-циліндричне приєднання до стержнів 1-5 і 2-6, а стержні 5-9, 5-6 і 9-6, 5-6 – такий же характер приєднання одного з кінців кожного стержня до вузлів 5 і 6 відповідно;

Рама завантажена в своїй площині зосередженим моментом  $M$  у вузлі 3, зосередженою вертикальною силою  $P_2$  в вузлі 9, зосередженою горизонтальною силою  $P_1$  в середині стержня 4-6, рівномірно розподіленим навантаженням на стержень 4-8, трапецієвидним горизонтальним навантаженням на стержень 7-3 і трикутним навантаженням на стержень 4-2;

Елементи рами виконані з різних матеріалів;

Вертикальні елементи (стійки) мають прямокутний переріз;

Горизонтальні (ригелі) і похилі (розкоси) елементи мають однаковий переріз з прокатних профілів.

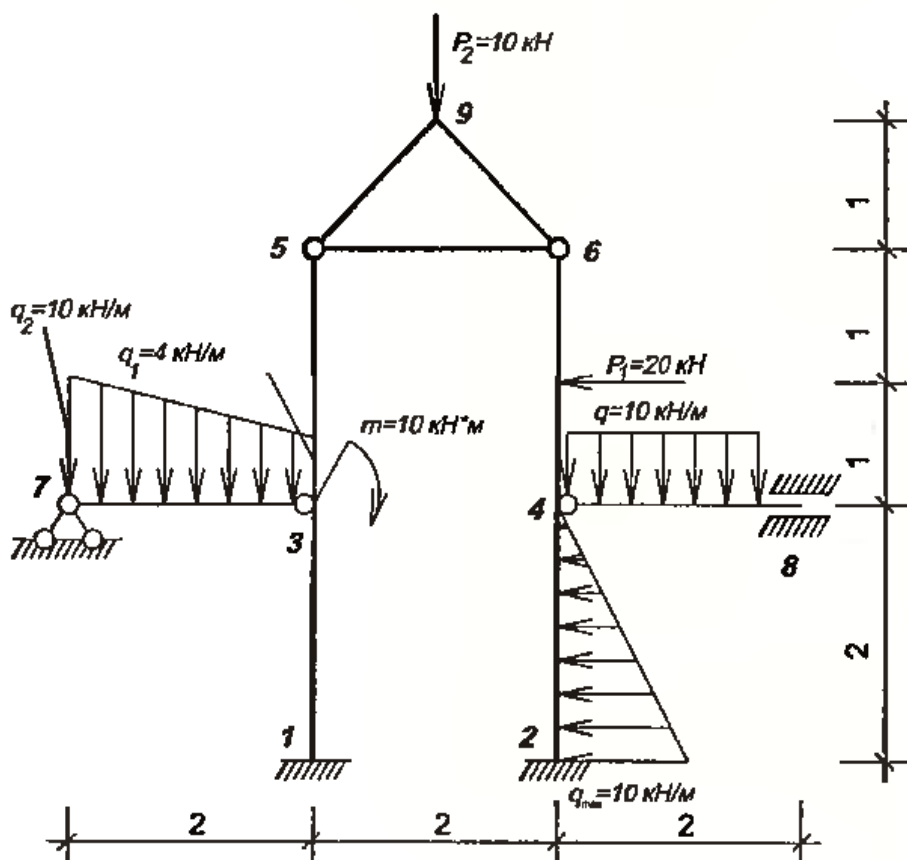
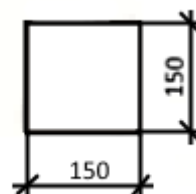


Рис. 2.1

Матеріал стійки – бетон В30;

Матеріал ригелів і розкосів – сталь якісна;

Переріз стійки:



Ригелі і розкоси – швелер 14П

#### Завдання

Для запропонованої схеми завантаженої рами (рис. 2.1) за допомогою системи SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

- сформувати розрахункову плоску стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити напружено-деформований стан моделі від заданого навантаження;

- вивести на екран монітору комп'ютеру компоненти визначеного напружено-деформованого стану моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і виконати експорт.

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

### Запуск розрахункового комплексу

Для запуску розрахункового комплексу активізуємо на піктограмі **SCAD**.

### Створення проекту

Створюємо новий проект, вибравши тип схеми **2 – Плоска рама**.

### Формування розрахункової схеми

#### Задавання вузлів

Для задавання вузлів переходимо до вкладки **Вузли і елементи** і активізуємо кнопку



**Вузли**

. В наборі кнопок натиснемо кнопку **Введення вузлів** . На екрані з'явиться однойменне діалогове вікно (рис. 2.2).

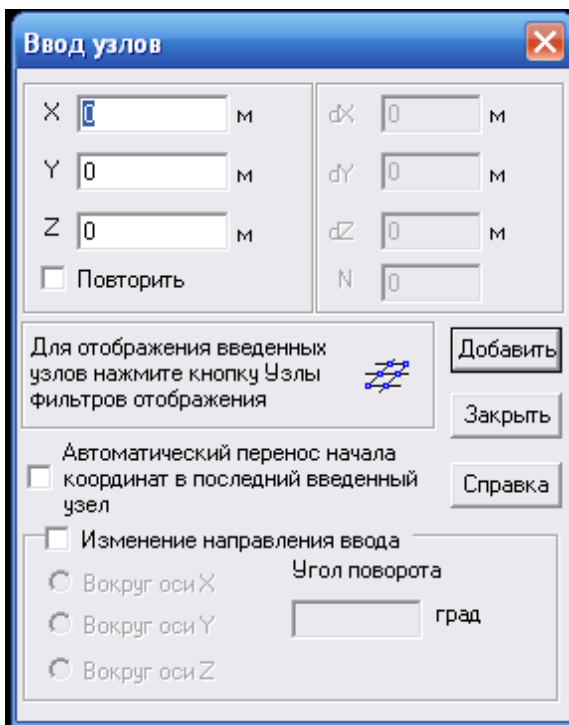


Рис. 2.2

В діалоговому вікні задаємо по координатах **X**, **Y**, **Z** вузли **1(2;0;0)** і **2(4;0;0)**. Після введення чергових трьох координат необхідно натиснути кнопку **Додати** діалогового вікна. Завершивши введення, закриваємо діалогове вікно.

Далі скористаємося інструментом копіювання. Для цього розкриваємо вкладку **Схема** і

натискаємо кнопку **Копіювання схеми** (перед розкриттям **Схеми** потрібно вузли які збираємось копіювати виділити скориставшись кнопкою

**Відмітка вузлів** ). В діалоговому вікні **Копіювання схеми** в колонки **Крок** і **Кількість** заносимо значення **2**. В пункті **Копіювати в напрямку** активізуємо кнопку **Z**. Діалогове вікно набуде вигляду, показаного на рис. 2.3. Закінчивши введення даних, натискаємо кнопку **OK**. На екрані з'являється вікно повідомлення

SCAD з запитанням **Зберегти результати копіювання?** У відповідь натискаємо **Так**.

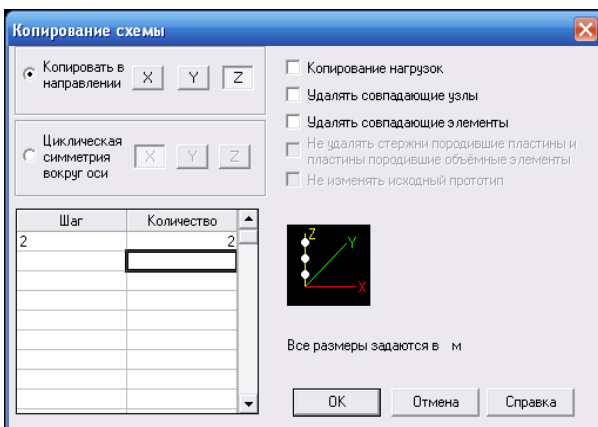


Рис. 2.3

Аналогічно за координатами вводимо інші вузли. Для цього у вкладці **Вузли і елементи**

натискаємо кнопку **Введення вузлів** і задаємо вузли **7(0;0;2)**; **8(6;0;2)**; **9(3;0;5)**. В результаті після активізації відповідних кнопок панелі **Фільтри відображення** отримуємо на екрані зображення, представлене на рис. 2.4.

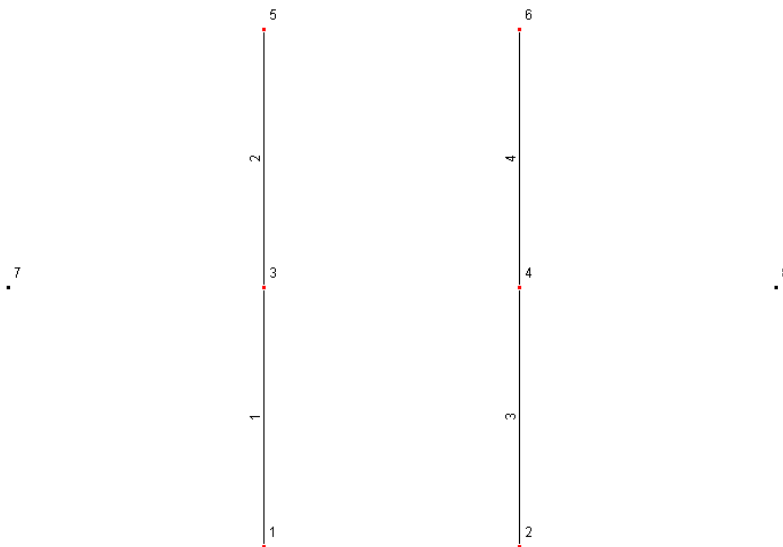


Рис. 2.4

### Задавання елементів

Знаходячись у вкладці **Вузли і елементи**, активізуємо кнопку **Елементи** .

В наборі кнопок натискаємо **Додавання стержнів**. Далі наводимо курсор на вузол 1, натискаємо ліву кнопку миші і тягнемо курсор до вузла 3, потім знову натискаємо на ліву кнопку миші. Подібним чином з'єднуємо вузли: 3 і 5; 2 і 4; 4 і 6; 7 і 3; 4 і 8; 5 і 9; 9 і 6; 5 і 6. В результаті виконаних дій отримуємо на екрані зображення наведене на рис. 2.5.

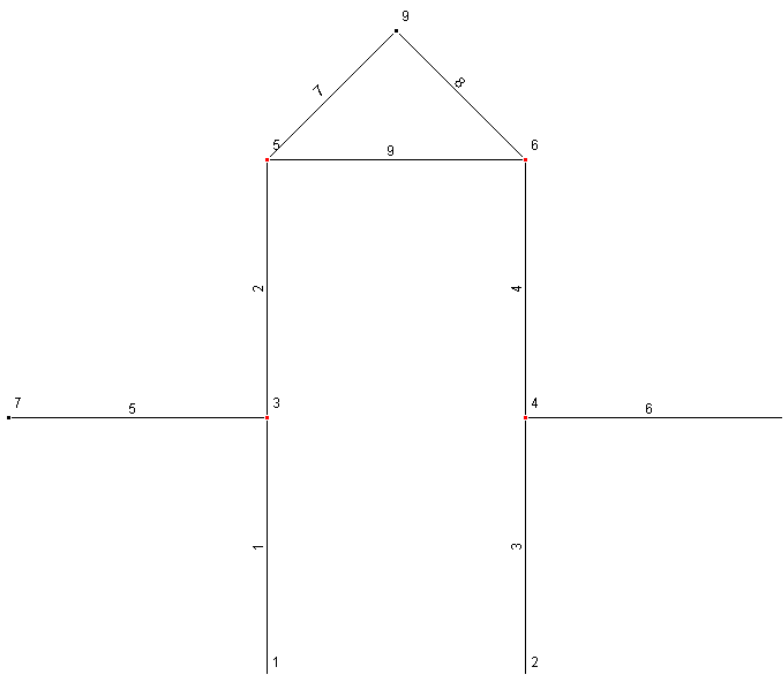



Рис. 2.5



## Призначення жорсткостей елементів

Для призначення жорсткості розкриваємо вкладку **Призначення** головної панелі інструментів. Натискаємо кнопку **Призначення жорсткості стержням** . В діалоговому вікні **Жорсткості стержневих елементів** активізуємо перемикач **Параметричні перерізи** і на вкладці **Параметричні перерізи** в низхідному списку розділу **Матеріал** вибираємо **Бетон важкий В30**, потім – **тип поперечного перерізу** (суцільний прямокутний), вводимо розміри **b (15)**, **h (15)**, натискаємо кнопку **Контроль**. Діалогове вікно при цьому набуде вигляду як на рисунку 2.6. Далі натискаємо кнопку **ОК**.

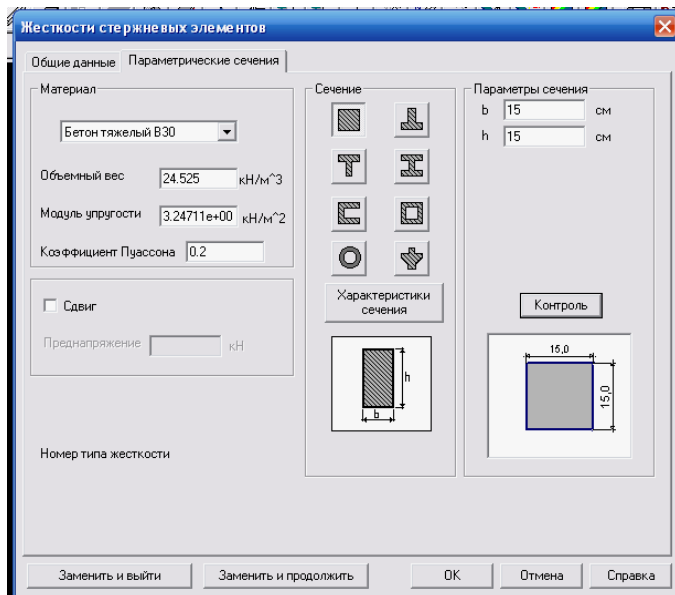


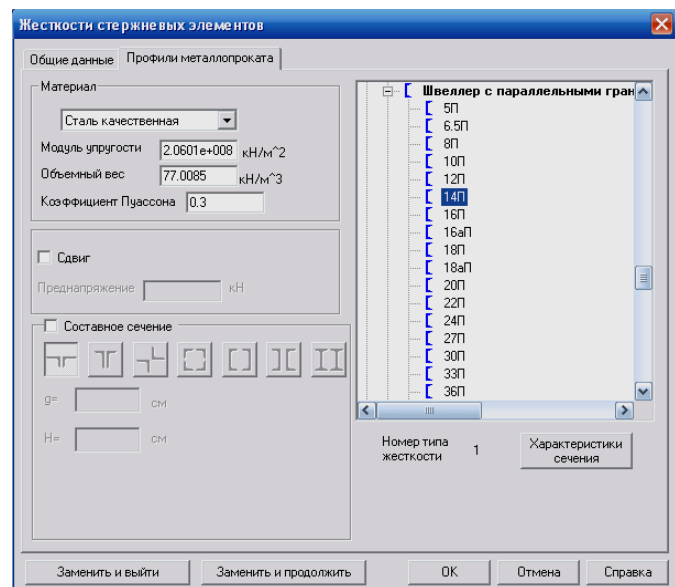


Рис 2.6

Далі призначаємо жорсткість елементам схеми. Для цього курсором відмічаємо на схемі всі вертикальні стержні і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі. В результаті всі вертикальні стержні будуть мати жорсткість першого типу.

Далі аналогічно іншим стержням призначаємо жорсткість другого типу. Для цього в тій же вкладці **Призначення** натискаємо кнопку **Призначення**

**жорсткості стержням** . В діалоговому вікні **Жорсткості стержневих елементів** активізуємо перемикач **Профілі металопрокату**.



Далі в вкладці **Профілі металопрокату** (рис. 2.7) в розділі **Повний каталог профілів ГОСТ.>Швеллер з паралельними гранями полок** (розкриваючи зміст каталогу натискаємо на символ «+») вибираємо 14П. В низхідному списку розділу **Матеріал** вибираємо **Сталь якісна**. Натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна. Відмічаємо курсором на схемі рами горизонтальні (ригелі) і похилі (розкоси) стержні і, натиснувши кнопку




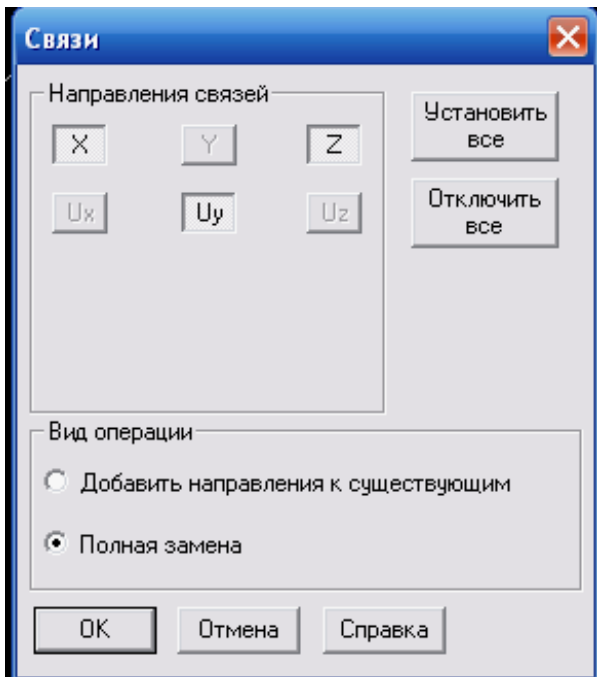
**Підтвердження**  інструментальної панелі, призначаємо їм другий тип жорсткості.

Рис. 2.7

## Накладання зв'язків в опорних вузлах рами

Для виконання даної операції в вкладці **Призначення** інструментальної панелі за допомогою кнопки **Встановлення зв'язків в вузлах**  викликаємо діалогове вікно **Зв'язки**. В режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X, Z, Uy** (рис. 2.8) і натискаємо кнопку **ОК**.

Виділяємо курсором на схемі вузли: **1, 2** і натискаємо кнопку **Підтвердження** 




інструментальної панелі, в результаті чого забезпечуємо жорстке заземлення опорних вузлів 1 і 2 рами в площині  $XoZ$ . Подібну операцію повторюємо для шарнірно-нерухомого вузла 7 (активацією кнопок X і Z) і плаваючого затиснення вузла 8 (активацією кнопки Z і Uy). Візуальний контроль правильності встановлення опорних зв'язків виконуємо натисненням кнопки

**Зв'язки**  на панелі **Фільтри відображення**.


Рис. 2.8

*Призначення умов примикання стержнів до вузлів*

В розділі **Призначення** за допомогою кнопки

**Встановлення шарнірів**  викликаємо діалогове вікно **Умови примикання стержнів** (рис. 2.9). Для звільнення кутових зв'язків (відносно місцевої координатної осі  $Y_1$  стержнів 5, 6, 7, 8, 9) необхідно визначити, в якому

вузлі стержня ми будемо звільняти зв'язок (в вузлі 1 або в вузлі 2). Активізуємо кнопку **Місцеві осі елементів** на панелі **Фільтри відображення**. Напрямок місцевої осі елемента покаже шлях від першого вузла до другого, тобто куди направлена вісь, там і буде розміщуватися другий вузол. Так, наприклад, для стержнів 5, 8, 9 необхідно звільнити кутовий зв'язок в вузлі 2, що ми і робимо встановленням галочки навпроти пункту UY в вузлі 2. Потім натискаємо кнопку **OK**. Вибираємо курсором на схемі стержні 5, 8, 9. Далі активізуємо кнопку

**Підтвердження**  інструментальної панелі, в результаті чого отримуємо циліндрично-шарнірне (відносно осі  $Y_1$ ) приєднання кінців вузлів 5, 8, 9 до відповідних вузлів. Аналогічно звільняємо зв'язки UY на початку стержнів 6, 7, 9 забезпечуючи їх приєднання до відповідних вузлів.

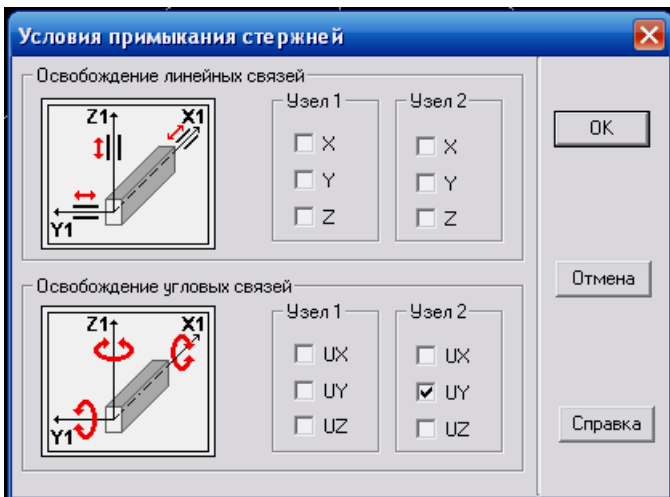



Рис 2.9

Потрібно відмітити, що зв'язки на кінцях стержнів орієнтовані відносно відповідних місцевих систем координат стержнів.

Відображенням шарнірів на розрахунковій схемі управляємо кнопкою

**Шарніри**  на панелі **Фільтри відображення**.

### Задавання завантаження рами

1. Задавання рівномірно розподіленого навантаження на стержень 6: в вкладці

**Завантаження** кнопкою **Навантаження на стержні**  викликаємо діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневі елементи** (рис. 2.10).

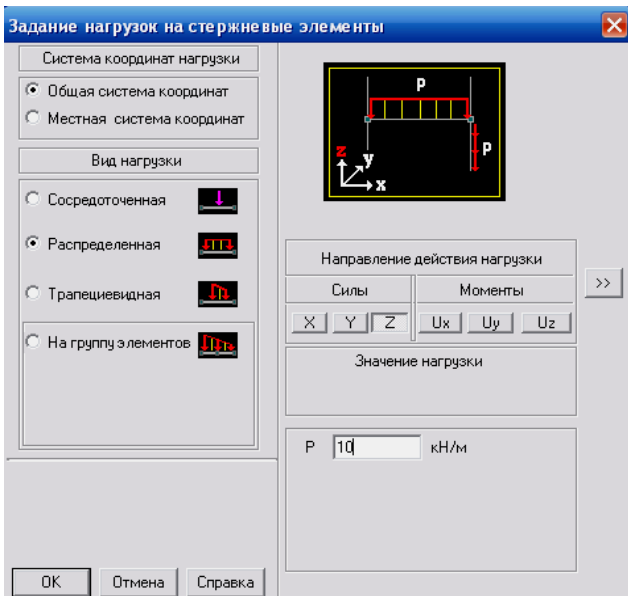




Рис 2.10


Вибираємо вид навантаження (**Розподілене**), напрямлення дії навантаження (Z), його значення (10) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержень 6 і активізуємо

кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.


2. Задавання трикутного навантаження на стержень 3: в вкладці **Завантаження** кнопкою

**Навантаження на стержні**  викликаємо діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневих елементах**. Вибираємо вид навантаження (**Трапецієвидне**), напрямлення дії навантаження (X). В поле значення

навантаження послідовно вводимо для  $P_1 - (10)$ , для  $A_1 - (0)$ , для  $P_2 - (0)$  і для  $A_2 - (2)$  і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержень 3 і натискаємо кнопку **Підтвердження**


 інструментальної панелі.


3. Задавання трапецієвидного навантаження на стержень 5: в вкладці **Завантаження**

кнопкою **Навантаження на стержні**  викликаємо діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневих елементах**. Вибираємо вид навантаження (**Трапецієвидне**), напрямлення дії навантаження (Z). В поля значення навантаження послідовно вводимо для  $P_1 - (10)$ , для  $A_1 - (0)$ , для  $P_2 - (4)$  і для  $A_2 - (2)$  і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо


стержень 5 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

4. Задавання зосередженої сили  $P_1$  на стержень 4: в вкладці **Завантаження** кнопкою

**Навантаження на стержні**  викликаємо діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневих елементах**. Вибираємо вид навантаження (**Зосереджене**), напрямлення дії навантаження (Z). В поля дії навантаження послідовно вводимо для  $P_1 - (20)$ , для  $A_1 - (1)$  і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержень 4 і натискаємо кнопку **Підтвердження**


 інструментальної панелі.


5. Задавання зосередженої сили  $P_2$  прикладеної в вузлі 9: в вкладці **Завантаження**

кнопкою **Вузлові навантаження**  викликаємо однойменне діалогове вікно. Вводимо в поле 3 значення 10 і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо вузол 9 і натискаємо кнопку

**Підтвердження**  інструментальної панелі.





6. Задавання зосередженого моменту  $M$  прикладеного в вузлі 3: в вкладці **Завантаження**

кнопкою **Вузлові навантаження**  викликаємо однойменне діалогове вікно. Вводимо в полі  $U_y$  значення (-10) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо вузол 3 і натискаємо

кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Потрібно відмітити, що вузлове навантаження завжди задається в загальній системі координат. В вікні, де вводяться числові значення навантажень, відображені системи координат, напрямлення осей яких прийнято за додатній напрямок.

Відображенням завантажень на схемі керуємо кнопками панелі **Фільтри відображення**:

**Вузлові навантаження** , **Розподілені навантаження** , **Зосереджені навантаження** , **Значення навантажень** .

Записуємо створене завантаження в проект. Для цього натискаємо кнопку



**Зберегти/Добавити завантаження** інструментальної панелі. В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Завантаження 1**, номер завантаження **1**, натискаємо кнопку **ОК** і на питання у вікні повідомлення **SCAD Переходити до формування наступного завантаження?** Натискаємо кнопку **Ні**. Після активації відповідних кнопок панелі **Фільтри відображення** отримуємо на екрані схему завантаженої рами (рис. 2.11).

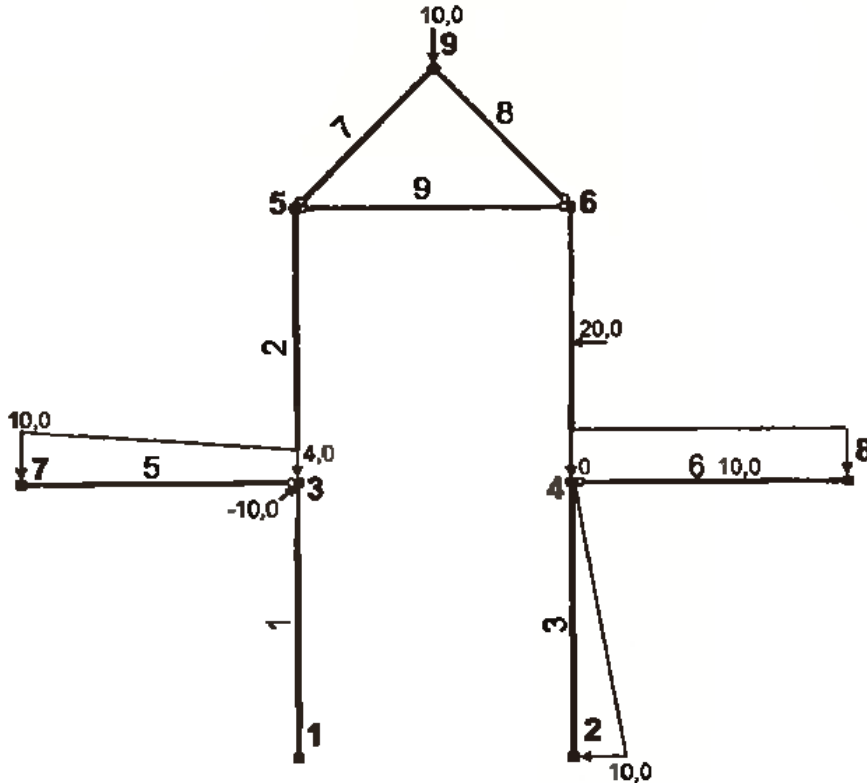


Рис 2.11

### Статичний розрахунок

Після створення розрахункової моделі споруди виконуємо її статичний розрахунок. Для цього входимо в дерево проекту, розкриваючи вкладку **Керування** і натискаємо кнопку **Увійти**



**в екран керування проектом**. В дереві проекту активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок**. В діалоговому вікні після ознайомлення зі змістом вікна **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**.

На екрані з'являється вікно повідомлення **SCAD** з запитанням **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** У відповідь натискаємо **Так**.

Після закінчення розрахунків переглядаємо інформацію, яка розміщується у вікні **Протокол виконання розрахунку** (рис. 2.12), для цього використовуємо лінійку прокрутки. Якщо в протоколі підтверджується правильність виконання розрахунку словами **Завдання виконано** і нема зауважень (наприклад, **Геометрично змінювана система**), то натисненням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізування результатів розрахунку.

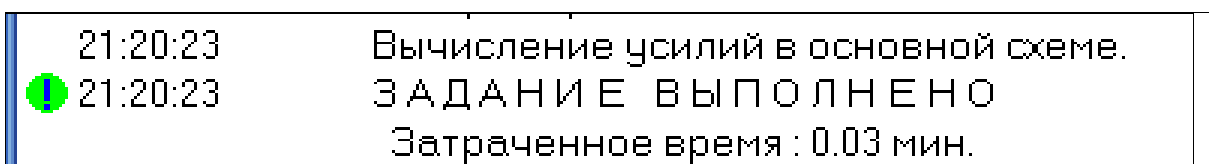


Рис 2.12

### Перегляд результатів розрахунку

В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора, де відображаються результати розрахунку рами: деформована схема, епюри зусиль тощо.

Переглянемо деформовану схему рами на фоні недеформованої. Для цього в вкладці **Деформації** натискаємо кнопку **Сумісне відображення вихідної і деформованої схеми**



Величини переміщень вузлів можна дізнатись з таблиці, яка автоматично формується програмою для звіту. Для зручності читання схеми деформацій відображаємо на ній номери вузлів однойменною кнопкою панелі **Фільтри відображення**. В результаті схема деформацій буде виглядати, як на рис. 2.13.

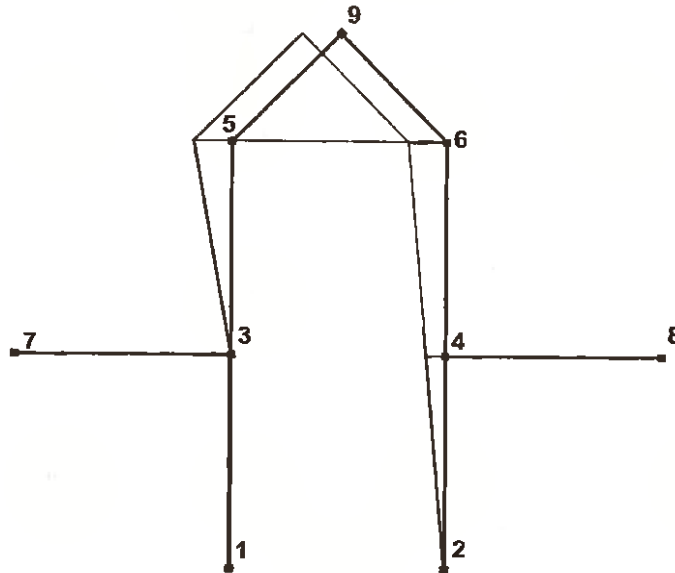


Рис 2.13

Для отримання епюри згинальних моментів в стержнях рами в вкладці **Епюри зусиль** з низхідного списку **Вибір виду зусилля** вибираємо **M** і натискаємо кнопку **Епюри зусиль**



Значення ординат епюр можна дізнатися з таблиці, яка автоматично формується програмою для звіту. Значення ординат подаються для трьох перерізів: початку (звіт 1), середини (звіт 2) і кінця (звіт 3). Для зручності читання епюри номера елементів відображаємо однойменною кнопкою панелі **Фільтри відображення**. В результаті епюра моментів буде мати вигляд, представлений на рис. 2.14.

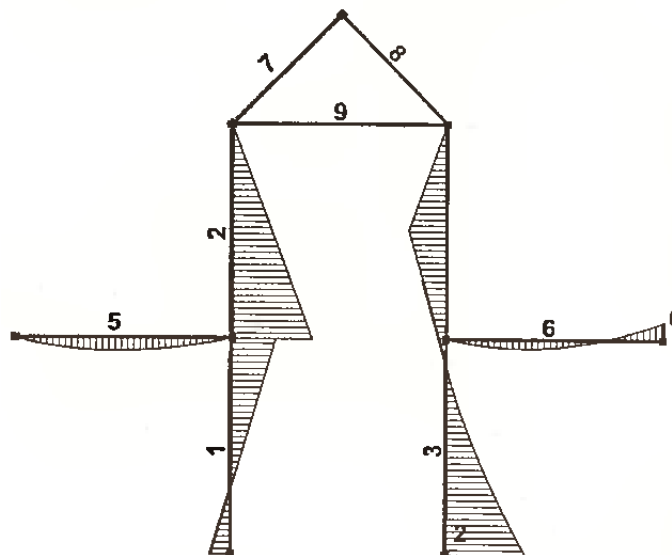




Рис 2.14


Відображення внутрішніх зусиль можливе у вигляді кольорової індикації. Для цього натискаємо кнопку **Кольорова індикація додатних значень зусиль**  або кнопку **Кольорова індикація негативних значень зусиль** .



Аналогічно можна вивести на екран епюри зусиль повздовжніх і поперечних сил (**N**, **Q**), вибираючи з низхідного списку **Вибір виду зусилля**.






Епюри і значення внутрішніх зусиль в стержнях отримані відносно відповідних місцевих систем координат X1 Y1 Z1.



### Підготовка результатів розрахунків для наступного експорту.


Результати розрахунку у вигляді епюр зовнішніх зусиль необхідно зберегти для включення у звіт, створюваний **SCAD**. Наприклад, для збереження розрахункової схеми рами необхідно у вкладці **Деформації** або в вкладці **Епюри зусиль** (на вибір користувача) активізувати кнопку

**Відображення розрахункової схеми** , при цьому розрахункова схема не буде відображена детально до тих пір, поки не будуть активовані відповідні кнопки панелі **Фільтри**

**відображення: Номера вузлів** , **Номера елементів** , **Номера типів жорсткості**


, **Зв'язки** , **Шарніри** , **Вузли** , **Вузлові навантаження** , **Розподілені**

**навантаження** , **Зосереджені навантаження**  тощо. Після найбільш повного відображення на екрані розрахункової схеми переходимо в вкладку **Керування** і натискаємо

кнопку **Зберігання образу екрану** , де в запропонованому вікні **Текст коментарів** вводимо **Розрахункова схема**, а потім в діалоговому вікні **Зберігання образу екрану** – ім'я файлу (будь-яке, яке легко розпізнається користувачем і не повторюється в робочій папці).

Подібні операції потрібно виконати для всіх необхідних графічних даних (епюр зовнішніх сил, вихідної і деформованої схем рами).

Далі переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо кнопку **Увійти в екран керування**

**проектом** . В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Документування**, в результаті чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів**.

Кожній керуючій кнопці відповідає діалогове вікно для налаштування таблиць певного виду. Всі вікна, крім вікна налаштування таблиць вихідних даних, мають однаковий набір керуючих елементів і єдині правила роботи. Розглянемо роботу з вікнами на прикладі вікна налаштування таблиць з вихідними даними.

Для початку ставимо галочку навпроти напису **Вся схема** і активізуємо відображення всіх вузлів і елементів схем.


Далі, в лівій частині вікна ми повинні за допомогою активізації відповідних керуючих кнопок вказати деталі інформації, що відображається по кожному пункту. Наприклад, при натисканні на кнопку **Вихідні дані** необхідно відмітити пункти: **Жорсткості**, **Величини навантажень**. Далі потрібно натиснути кнопку **Ілюстрації** і додати в праве поле вікна необхідну для включення в звіт схему, використовуючи, якщо необхідно, можливість перегляду схем, що додаються. Так, наприклад, в розділ **Вихідні дані** ми включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділ **Переміщення** – вихідну і деформовану схему рами, а в розділ **Зусилля і напруження** – епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення**, **Зусилля** і **Напруження** необхідно відмітити пункт **Вся схема**. Завершити роботу з вікнами потрібно натисненням кнопки **OK**.

### Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word

Після вибору всіх необхідних даних експортуємо результати розрахунків в MS Word, для чого натискаємо кнопки **Створити документ MS Word** діалогового вікна **Виведення результатів**, при цьому пропонується вибрати версію редактора з **MS Word 7.0** і **MS Word 97**. Зупиняємо свій вибір на **MS Word 97**.

Наступною дією буде вказування імені файлу результатів.

### **Вихід з розрахункового комплексу**

Для виходу з розрахункового комплексу натискаємо на кнопку **Вихід з SCAD** . В вікні оповіщення SCAD на питання **Завершити роботу?** Натискаємо кнопку **Так**.

### **Контрольні питання**

1. Як встановлюються зв'язки?
2. Як задають навантаження на стержні?
3. Як задають навантаження на вузли?
4. Як зберегти проект?
5. Як встановити шарнір?
6. Як переглянути результати розрахунку?
7. Як виконують експорт результатів в редактор MS Word
8. Що собою являє епюра моментів?
9. Що собою являє епюра поперечних сил?
10. У чому полягає різниця між епюрами поперечних і поздовжніх сил?
11. З яких матеріалів можуть виготовляти балки перекриття?
12. З яких матеріалів виготовляють колони?
13. Якого перерізу колони можуть бути?
14. Дайте визначення «стержневі елементи».
15. Що таке міцність конструкцій будівель?

## 2.2. Просторові стержневі системи

### Вихідні дані

Розрахункова схема і характер зовнішнього навантаження представлені на рис. 2.15.

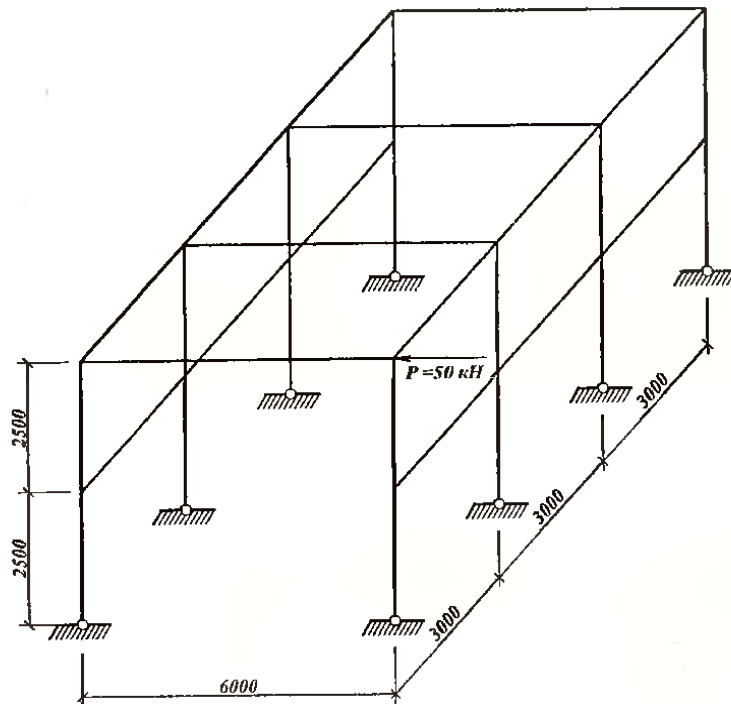
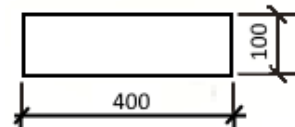


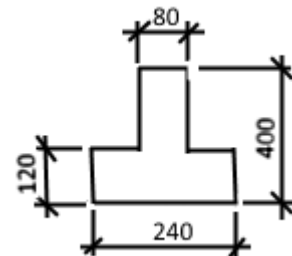
Рис. 2.15

**Матеріал** – бетон важкий В30

**Переріз стійки:**



**Переріз ригеля:**



Рама має вертикальну площину симетрії, яка проходить по середині поперечника рами;  
Елементи рами виконані з бетону (В30);  
Вертикальні елементи (стійки) мають однакові прямокутні перерізи;  
Горизонтальні елементи (ригелі) мають однакові таврові перерізи, але різне розміщення полки тавру (в нижніх ригелях полка тавру розміщена внизу, а в верхніх ригелях – зверху);  
Всі стійки рами кріпляться до опорної горизонтальної поверхні сферичними нерухомими шарнірами;  
У всіх проміжних вузлах елементи рами жорстко з'єднуються між собою;  
Зовнішнє навантаження задано в вигляді однієї горизонтальної (паралельної вісі X) вузлової зосередженої сили.

### Завдання

Для запропонованої схеми рами з допомогою системи SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

- сформувати її розрахункову просторову стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітору комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори пакету MS Office і виконати експорт.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

#### Запуск розрахункового комплексу.

Для запуску розрахункового комплексу активізуємо на піктограмі **SCAD**.

#### Створення нового проекту.

Створюємо новий проект, обравши тип схеми **5 – Система загального виду.**

#### Побудова просторової стержневої моделі

Формування початкової схеми фрагмента рами.

Відкриваємо вкладку **Схема** і натискаємо кнопку **Генерація прототипу рами**





В вікні **Вибір конфігурації рами** (рис. 2.16) залишаємо установки за замовчуванням і натискаємо кнопку **ОК**.

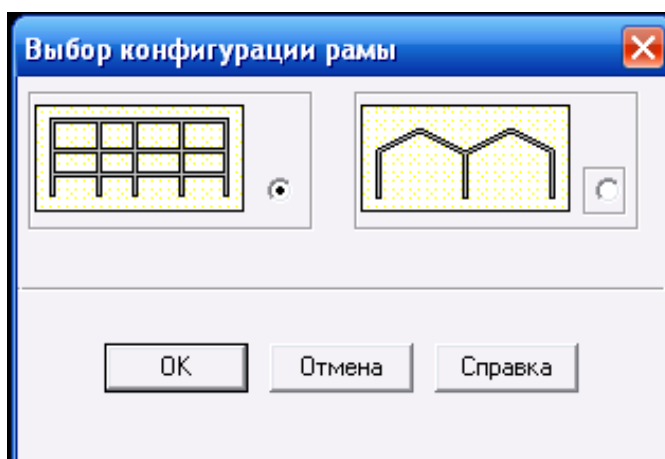


Рис. 2.16

В діалоговому вікні **Задання параметрів регулярної рами** (рис. 2.17) вводимо геометричні параметри початкової схеми (поперечника просторової рами): в лівій частині – дані про прогони: **Довжини прогонів** і **Кількість прогонів**, відповідно 6 і 1, а в правій — дані про поверхи: **Висоти поверхів** і **Кількість поверхів**, відповідно 5 і 1. Виключаємо режим **Автоматична установка зв'язків** і натискаємо кнопку **ОК**.

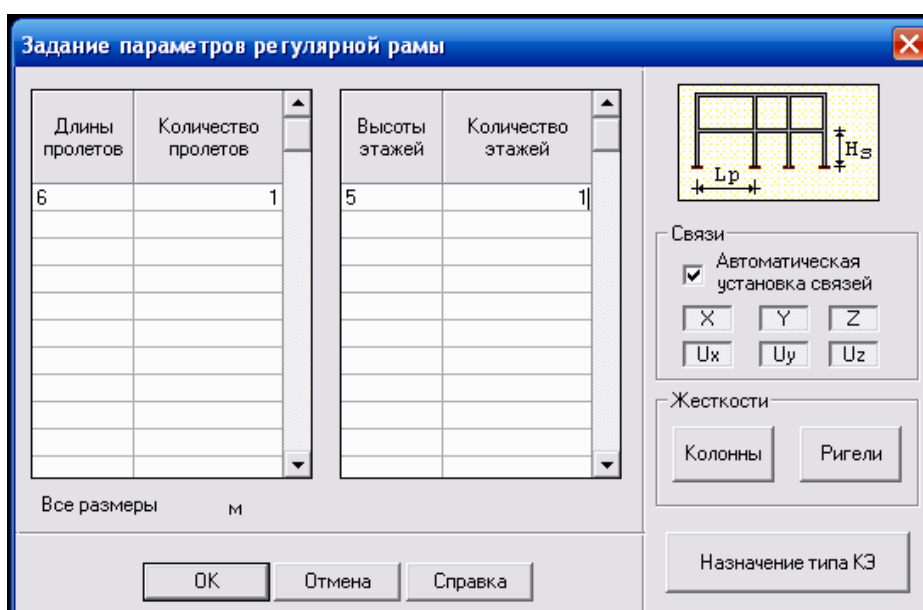



Рис. 2.17



Відображенням на схемі номерів вузлів і елементів керуємо кнопками **Номера вузлів** 

і **Номера елементів**  на панелі **Фільтри відображення**.


В результаті в графічному полі вікна програми отримуємо початкову схему рами (рис. 2.18).



До отриманої схеми необхідно додати два допоміжних вузла 5 і 6, розміщених поза площиною сформованої рами, потім поділити навпіл елементи 1 і 2.

Для задання допоміжних вузлів в вкладці **Вузли і елементи** натискаємо кнопку **Вузли**

, далі в наборі кнопок натискаємо кнопку **Введення вузлів** . В діалоговому вікні **Введення вузлів** задаємо координати допоміжних вузлів 5 (0; 9; 0) і 6 (6; 9; 0). Після

введення наступних трьох координат натискаємо кнопку **Добавити**. Далі закриваємо діалогове вікно кнопкою **Закрити**.

Виконаємо поділ стійки на дві рівні частини. Для цього, знаходячись в вкладці **Вузли і елементи**, натискаємо кнопку **Елементи** . У наборі кнопок, що відкрилися, натискаємо

**Розбивка стержня** . У вікні **Поділ елемента** вибираємо пункт **На N рівних ділянок**, задаємо параметр **N (2)** і натискаємо кнопку **ОК**. Відмічаємо курсором на схемі стержні 1 і 2 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

В результаті в графічному полі вікна програми отримуємо головну схему фрагменту рами (рис. 2.19).

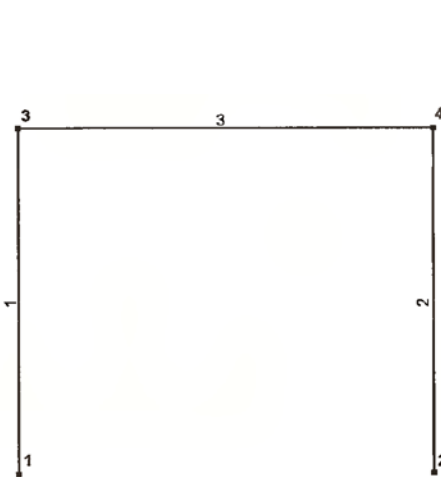


Рис. 2.18

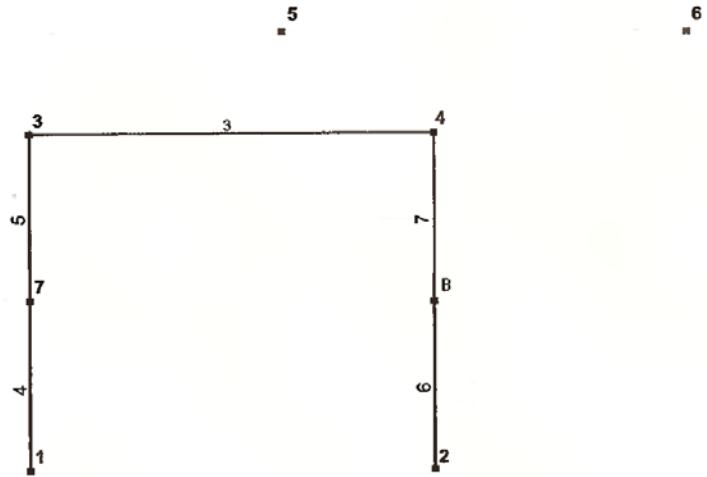




Рис. 2.19

За допомогою пункту **Проект** головного меню і підпункту **Зберегти проект як...**, зберігаємо створену головну схему. У вікні **Збереження проекту SCAD** задаємо ім'я файлу, наприклад, **Коваленко І.І. - Плоска рама Г** (останній символ Г нагадує користувачу про те, що в цьому файлі буде збережена головна схема рами). Завершуємо роботу з вікном натисненням кнопки **Зберегти**.

#### *Формування допоміжної підсхеми рами*

Переходимо в екран керування проектом (вкладка **Керування**, кнопка **Перейти в екран керування проектом** ) і активізуємо пункт **Розрахункова схема** розділу дерева проекту **Вихідні дані**.

Керування передається графічному препроцесору, за допомогою якого виконується побудова допоміжної підсхеми заданої просторової рами.

Відкриваємо вкладку **Схема** і натискаємо кнопку **Генерація прототипу рами** . На питання діалогового вікна **SCAD** відповідаємо натисненням кнопки **Так**. У вікні **Вибір конфігурації рами** натискаємо кнопку **ОК**.

Далі у вікні **Задавання параметрів регулярної рами** вводимо довжини прогонів (**3**) і їх кількість (**3**), висоти поверхів (**2.5**) і їх кількість (**2**) і натискаємо кнопку **ОК**.

В результаті в графічному полі вікна програми отримуємо підсхему рами (рис. 2.20).

Записуємо створену схему на диск за допомогою меню **Проект** і підпункту **Зберегти проект як....** У вікні **Збереження проекту SCAD** задаємо ім'я файлу, наприклад, **Коваленко І.І. - Просторова рама П**, де останній символ П вказує користувачу, що в цьому файлі зберігається підсхема фрагмента рами. Підтверджуємо збереження натисненням кнопки **Зберегти**.

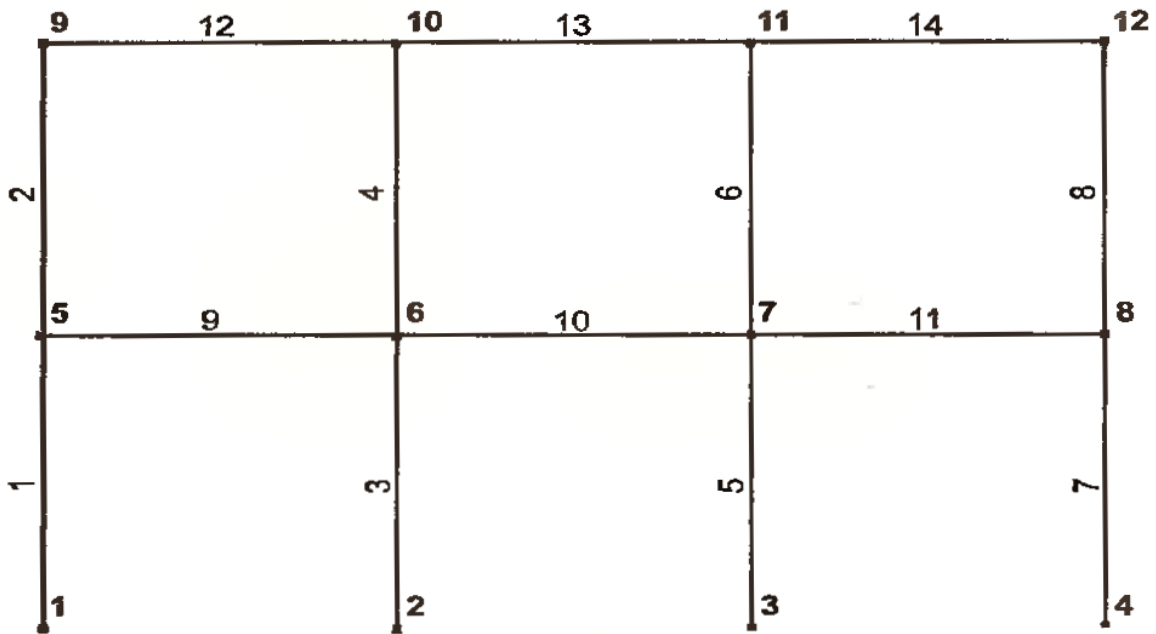



Рис. 2.20

*Складання проміжної розрахункової схеми рами*

У вкладці **Керування** натискаємо кнопку **Відкрити існуючий проект** .

У вікні **Відкриття проекту SCAD** вибираємо файл, що містить початкову схему (в даному прикладі **Коваленко І.І. – Плоска рама Н**) і натискаємо кнопку **Відкрити**. Входимо в режим складання проміжної розрахункової схеми рами шляхом переходу до вкладки **Схема** і

натиснення кнопки **Режим збирання** . Для підключення підсхеми натискаємо кнопку




**Завантаження підсхеми**  інструментальної панелі. У вікні **Відкриття проекту SCAD** задаємо ім'я файлу, в якому розміщено раніш записану інформацію про створення підсхеми (в даному прикладі **Коваленко І.І. – Плоска рама П**) і натискаємо кнопку **Відкрити**.


Схема **Н** буде розміщена в основному робочому вікні SCAD ... **Коваленко І.І. - Плоска рама С**, а підсхема **П** - у допоміжному вікні SCAD ... **Коваленко І.І. - Плоска рама П**.

Нумеруємо вузли і елементи, натискаючи відповідно кнопки **Номера вузлів**  і

**Номера елементів**  на панелі **Фільтри відображення**.

Починаємо процес складування схеми **Н** і підсхеми **П** проміжної розрахункової схеми. Для

цього натискаємо кнопку **Вибір способу збирання**  у вікні **Збирання схеми** (рис. 2.21). Вибираємо спосіб складання: **Збіг трьох вузлів** і натискаємо кнопку **ОК**. Далі курсором відмічаємо вузли: № 2 схеми **С** і № 1 підсхеми **П** (вони відображені червоним кольором); № 4 схеми **С** і № 9 підсхеми **П** (зеленим кольором); № 6 схеми **С** і № 4 підсхеми **П** (малиновим

кольором). Натискаємо кнопку **Підтвердження**  на інструментальній панелі, а потім кнопку **Підтвердити зборку** у вікні **Результат**.

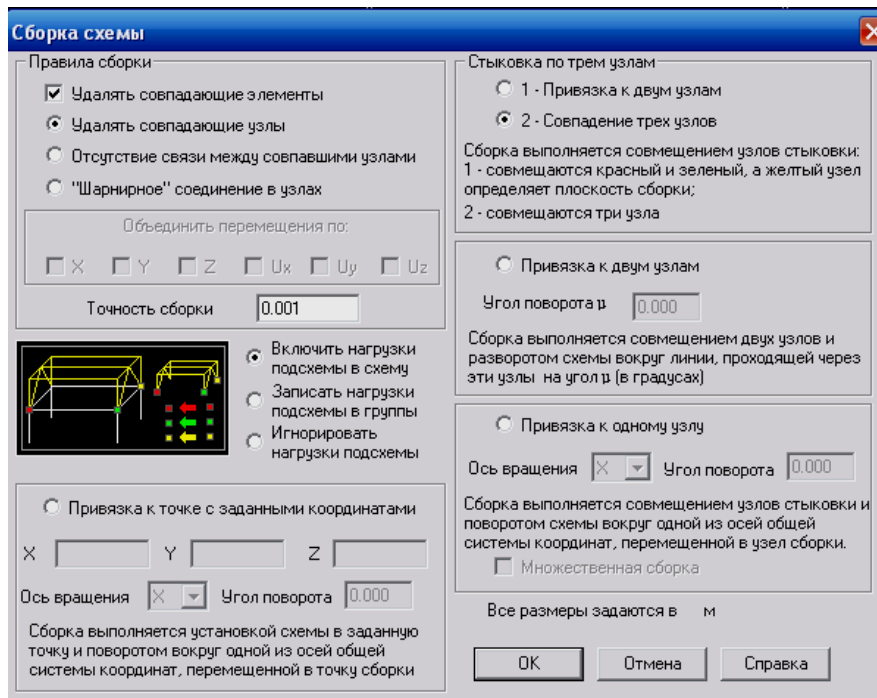



Рис. 2.21

Аналогічно приєднуємо підсхему з другого боку основної схеми. Для цього курсором відмічаємо вузли схеми **С**: № 1 (червоним кольором); № 3 (зеленим кольором); № 5 (малиновим кольором). Натискаємо кнопку **Підтвердження**  на панелі, а в вікні **Результат** — кнопку **Підтвердити збірку**. Отримуємо проміжну схему рами (рис. 2.22).

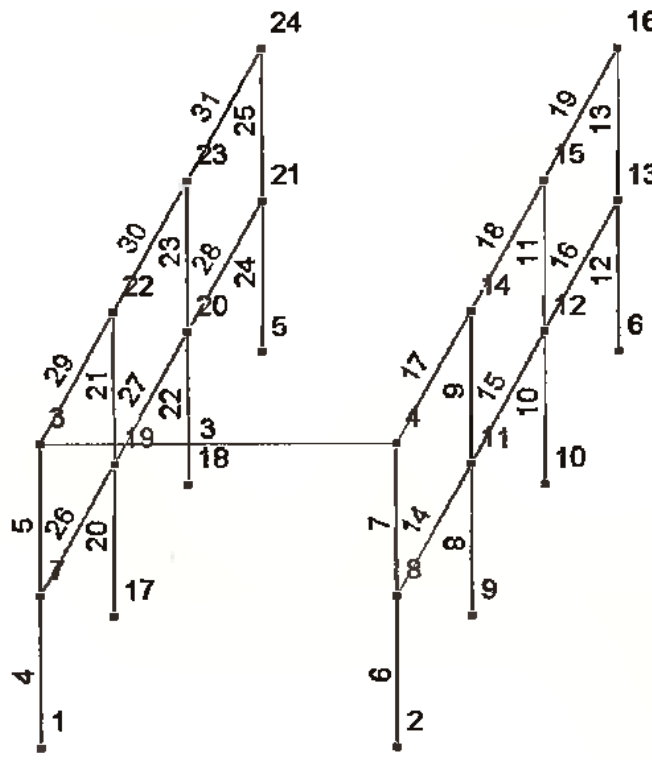



Рис. 2.22

Повторним натисненням кнопки **Режим збирання**  виключаємо режим складання.


### Формування повної розрахункової схеми просторової рами

Доповнимо проміжну схему стержньовими елементами, яких не вистачає. Для цього у

вкладці **Вузли і елементи** натискаємо кнопку **Елементи** . Далі у наборі кнопок

натискаємо **Добавлення стержнів** . Наводимо курсор на вузол 22, натискаємо ліву кнопку миші і тягнемо гумову нитку до вузла 14, куди встановлюємо курсор, і знову натискаємо ліву кнопку миші. Аналогічно задаємо стержні через вузли 23, 15 і 24, 16. В результаті отримуємо повну розрахункову схему просторової рами.

### Зміна нумерації вузлів і елементів.

У вкладці **Керування** натискаємо кнопку **Упаковка даних**  і у відповідь на питання **Видалити вузли, що не належать елементам** натискаємо **Так**. У результаті отримуємо схему, яка показана на рис. 2.23.

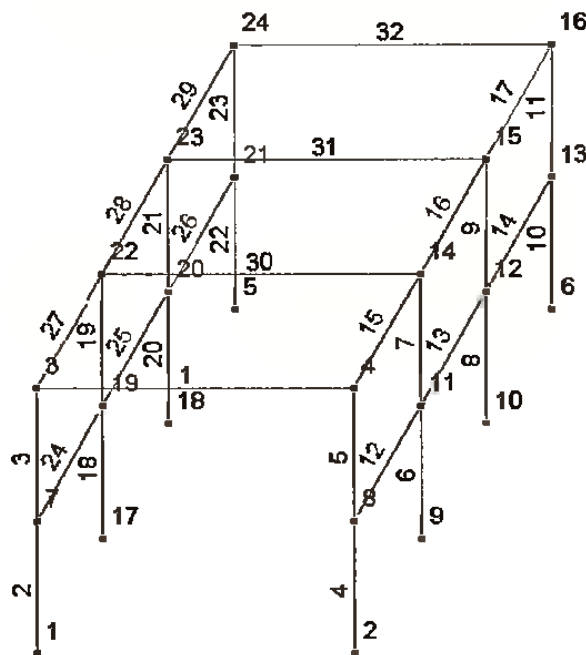



Рис. 2.23

### Призначення жорсткостей елементів

Формуємо перший тип жорсткості стержнів. Для цього у вкладці **Призначення** натискаємо

кнопку **Призначення жорсткостей стержням** . У вікні **Жорсткості стержневих елементів** встановлюємо перемикач **Параметричні перерізи** і переходимо до вкладки **Параметричні перерізи**. З нижнього списку розділу **Матеріал** вибираємо **Бетон важкий В30**. Задаємо переріз (суцільний прямокутний) і його розміри ( $b=20$  см;  $h=40$  см). Для перевірки введених величин натискаємо кнопку **Контроль**, а потім кнопку **ОК**.

Перший тип жорсткості призначаємо вертикальним елементам рами. Для цього правою кнопкою миші активізуємо вікно **Вибір вузлів і елементів**, в розділі якого **Вибір стержнів** натискаємо кнопки **Вертикальні**, **Інвертувати вибір елементів** і кнопку **ОК**. Вертикальні стержні будуть виділені червоним кольором. Процес закінчується натисненням кнопки **Підтвердження** панелі інструментів.


Далі аналогічно формуємо другий тип жорсткості стержнів. У вкладці **Призначення** натискаємо кнопку **Призначення жорсткостей стержням**. У вікні **Жорсткості стержневих елементів** встановлюємо перемикач **Параметричні перерізи** і переходимо до вкладки **Параметричні перерізи**. В нижньому списку розділу **Матеріал** вибираємо **Бетон важкий**

**В30.** Задаємо переріз (тавровий, з полкою внизу) і його параметри ( $b=8$  см;  $h=40$  см;  $b_1=24$  см;  $h_1=12$  см). Для перевірки введених величин натискаємо кнопку **Контроль** і потім **ОК**.


Другий тип жорсткості призначаємо всім горизонтальним елементам. Для цього правою кнопкою миші активізуємо вікно **Вибір вузлів і елементів**, у розділі якого **Вибір стержнів** вимикаємо кнопку **Вертикальні**, натискаємо кнопки **Горизонтальні**, **Інвертувати вибір елементів** і кнопку **ОК**. Всі горизонтальні стержні будуть виділені червоним кольором. Процес

завершується натисненням кнопки **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Оскільки таврові перерізи верхніх і нижніх горизонтальних ригелів відрізняються тільки розміщенням полки, то формування третього типу жорсткості для верхніх ригелів виконуємо шляхом повороту осей  $X_1$  на  $180$  відносно їх відповідних повздовжніх місцевих координатних осей. Для цього у вкладці **Призначення** кнопкою **Задавання орієнтації місцевих осей**


**координат елементів**  активізуємо вікно **Орієнтація осей інерції**. В розділі **Кут повороту осей F** встановлюємо перемикач **В градусах** і вводимо значення кута повороту **F=180**. Натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо елементи з номерами 1, 30, 31, 32 і


натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Для перевірки орієнтації місцевих осей координат у вікні **Фільтри відображення** натискаємо кнопку **Інформація про елемент** . Після чого у вікні **Інформація про елемент** вводимо номер елемента, наприклад, **1**, і натискаємо кнопку **Пошук**. Переглянувши внизу вікна інформацію про орієнтацію осей місцевої відносно загальної системи координат даного стержня, натискаємо кнопку **Вихід**.


#### *Установка зв'язків в опорних вузлах*

Для накладання зв'язків у вкладці **Призначення** інструментальної панелі за допомогою

кнопки **Установка зв'язків у вузлах**  викликаємо діалогове вікно **Зв'язки**. В режимі **Вид операції — Повна заміна** в розділі **Направлення зв'язків** натискаємо кнопки **X**, **Y**, **Z** і кнопку **ОК**. Відмічаємо курсором на схемі вузли з номерами 1, 17, 18, 5, 2, 9, 10, 6 і натискаємо кнопку

**Підтвердження**  інструментальної панелі. В результаті даних операцій відповідні вузли будуть приєднані до опорної поверхні нерухожими сферичними шарнірами.

#### *Задавання завантажень*


У вкладці **Завантаження** кнопкою **Вузлові навантаження**  активізуємо вікно **Введення вузлових навантажень**. В розділі **Сили** вводимо по напрямку **X** значення **50 кН**, і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо вузол 4 і завершуємо введення кнопкою

**Підтвердження**  інструментальної панелі.

Відображенням навантажень на схемі керуємо кнопками панелі **Фільтри відображення**:

**Вузлові навантаження** , **Значення навантажень** .

Записуємо створене завантаження в проект. Для цього натискаємо кнопку

**Зберегти/Добавити завантаження**  інструментальної панелі. В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Завантаження 1**, номер завантаження **1**, натискаємо кнопку **ОК**. В діалоговому вікні **SCAD** у відповідь на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** натискаємо **Ні**.

#### Статичний розрахунок

Після створення розрахункової моделі конструкції виконуємо її статичний розрахунок. Для цього входимо в дерево проекту, розкриваючи вкладку **Управління** і натискаючи кнопку

**Увійти в екран управління проектом** . В дереві проекту активізуємо пункт **Лінійний**

розділу **Розрахунок**. В діалоговому вікні після ознайомлення з змістом вікна **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**.

У вікні повідомлення SCAD з'являється питання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** У відповідь натискаємо кнопку **Так**.

Після закінчення розрахунку необхідно, використовуючи лінійку прокрутки, переглянути інформацію, що розміщена у вікні **Протокол виконання розрахунку** (рис. 2.24). Якщо в протоколі підтверджується правильність виконання розрахунку словами **Завдання виконано** і немає, наприклад, таких зауважень, як **Геометрично змінна система**, то натисненням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу результатів розрахунку.

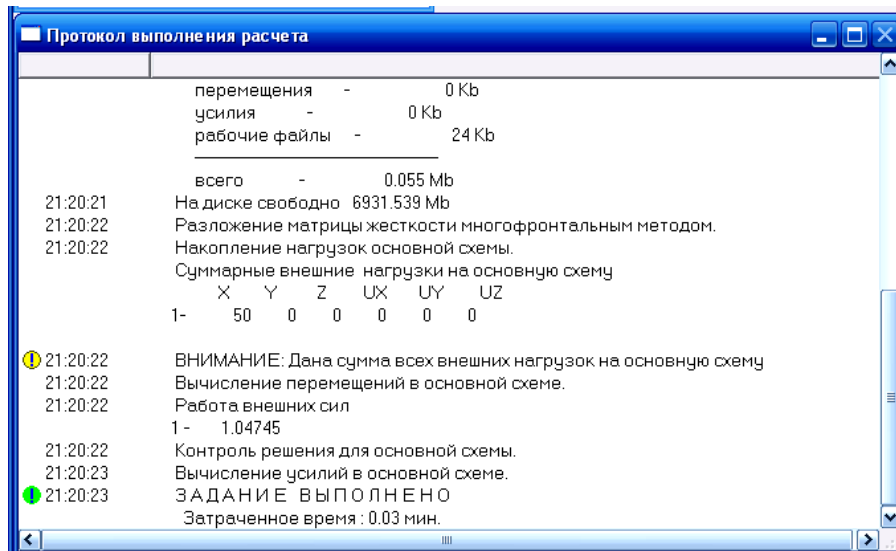


Рис. 2.24

### Перегляд результатів розрахунку

В розділі **Результати** дерева проекту установимо курсор в пункт **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора, де відображаються результати НДС рами: деформована схема, епюри зусиль тощо.

Переглянемо деформовану схему рами на фоні недеформованої. Для цього у вкладці **Деформації** натискаємо кнопку **Сумісне відображення вихідної і деформованої схеми**



Величини переміщень вузлів можна дізнатись з таблиці, автоматично сформованої програмою для звіту. Для зручності читання схеми деформацій номера вузлів на ній відображаємо однойменною кнопкою панелі **Фільтри відображення**. В результаті схема деформацій буде мати вигляд, представлений на рис. 2.25.

Для отримання на екрані відображення епюри згинальних моментів в стержнях рами в вкладці **Епюри зусиль** з низхідного списку **Вибір виду зусилля** вибираємо **M** і натискаємо



кнопку **Епюри зусиль**. Значення ординат епюр можна дізнатись з таблиці, яка автоматично формується програмою для звіту. В ній значення ординат даються для трьох перерізів: початку (в звіті 1), середини (в звіті 2) і кінця (в звіті 3). Отже, для зручності читання епюри відобразимо на епюрі номера елементів однойменною кнопкою панелі **Фільтри відображення**. В результаті епюра моментів буде виглядати як на рис. 2.26.

Відображення внутрішніх зусиль можливо представити у вигляді кольорової індикації. Для цього натискаємо кнопку **Кольорова індикація додатних значень зусиль**



**Кольорова індикація від'ємних значень зусиль**



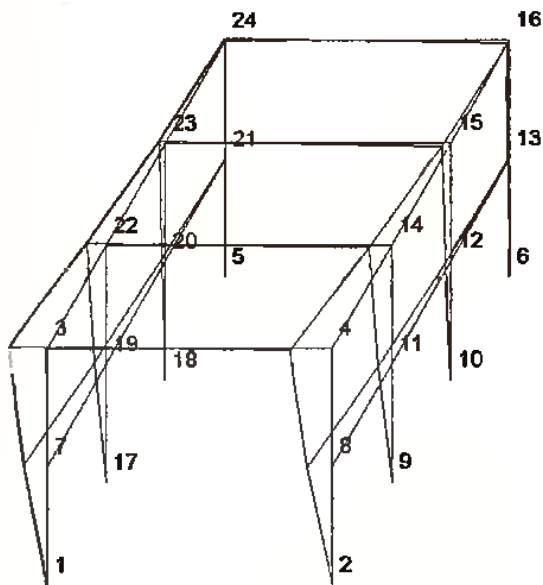


Рис. 2.25

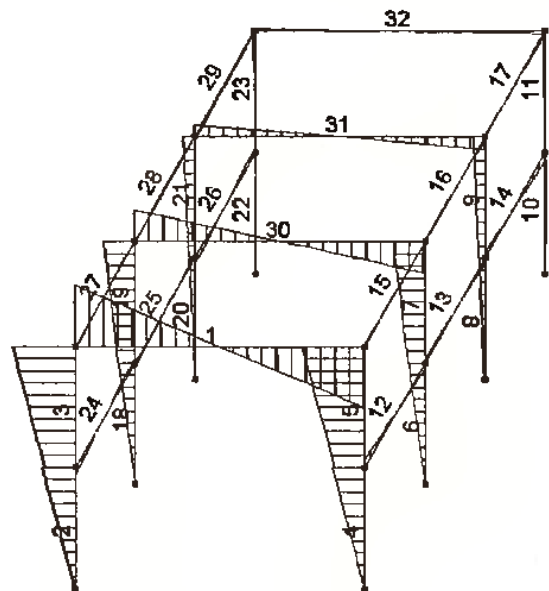









Рис. 2.26

### Підготовка результатів розрахунку для наступного експорту


Результати розрахунку у вигляді епюр внутрішніх зусиль зберігаємо для включення в звіт, створюваний SCAD. Наприклад, для зберігання розрахункової схеми рами необхідно у вкладці **Деформації** або у вкладці **Епюри зусиль** (на вибір користувача) активізувати кнопку

**Відображення розрахункової схеми**  при цьому розрахункова схема не буде відображена повністю до тих пір, поки не будуть активізовані відповідні кнопки панелі **Фільтри**


**відображення: Номера вузлів** , **Номера елементів** , **Номера типів жорсткості**

, **Зв'язки** , **Шарніри** , **Вузли** , **Вузлові навантаження** ,

**Розподілені навантаження** , **Зосереджені навантаження**  тощо. Після найбільш повного відображення на екрані розрахункової схеми переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо

на кнопку **Збереження образу екрану**  де в запропонованому вікні **Текст коментаріїв** вводимо **Розрахункова схема**, а потім в діалоговому вікні **Збереження образу екрану** – ім'я файлу. Подібні операції необхідно виконати для всіх необхідних для звіту графічних даних (епюр внутрішніх зусиль, вихідної і деформованої схем рами).

Далі переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо на кнопку **Увійти в екран керування**

**проектом** . В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Документування**, в результаті чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів**.

Розглянемо роботу з вікнами на прикладі вікна налаштування таблиць з вихідними даними.

Спочатку ставимо галочку напроти надпису **Вся схема**, який активізує відображення всіх вузлів і елементів схеми.

Далі в лівій частині вікна активізацією відповідних керуючих кнопок указуємо деталі відображуваної інформації. Наприклад, при натисненні на кнопку **Вихідні дані** відмічаємо пункти: **Жорсткості**, **Величини навантажень**. Далі натисненням на кнопку **Ілюстрації** і додаємо в праве поле вікна необхідну схему, використовуючи якщо необхідно, можливість перегляду доданих схем. Так, наприклад, в розділі **Вихідні дані** включаємо створену раніш розрахункову схему, в розділ **Переміщення** - вихідну і деформовану схеми рами, а в розділ **Зусилля і напруження** - епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення** і **Зусилля і напруження** відмічаємо пункт **Вся схема**. Завершаємо роботу з вікнами натисненням кнопки **ОК**.



### Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word

Після вибору всіх необхідних для звіту даних експортуюмо їх в MS Word, для чого натискаємо кнопки **Створити документ MS Word** діалогового вікна **Виведення результатів Приклад1**, при цьому вибираємо версію редактора.

Остання дія – вказування імені файлу результатів.

### Вихід з розрахункового комплексу

Для виходу з розрахункового комплексу натискаємо на кнопку **Вихід з SCAD** . У вікні повідомлення SCAD на питання **Завершити роботу?** відповідаємо **Так**.

### **Контрольні питання**

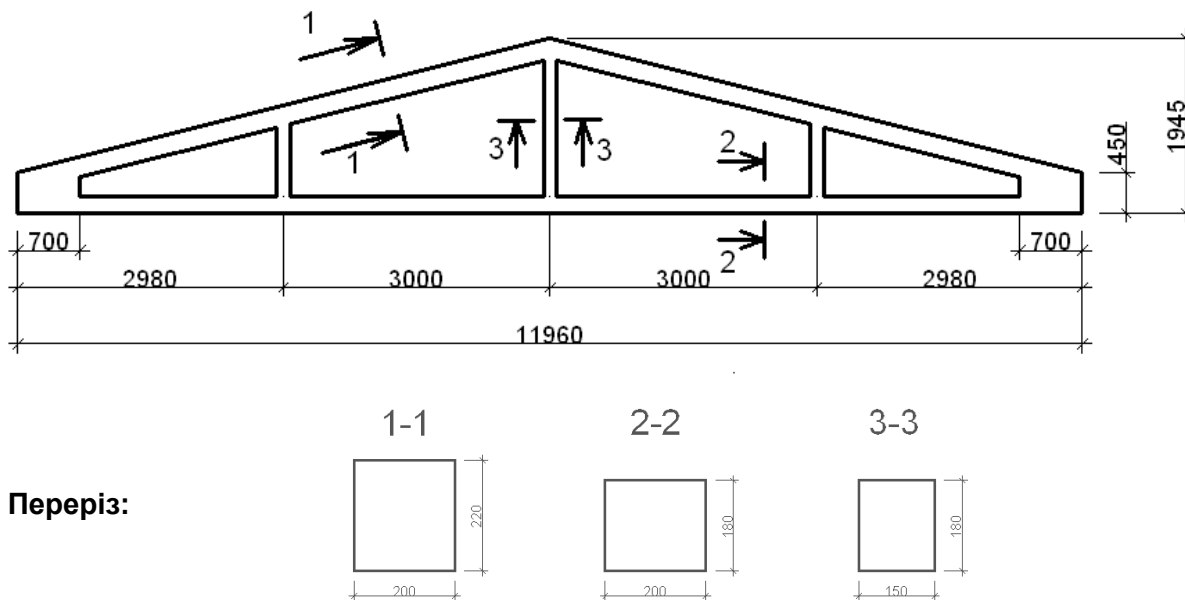
1. Як розділити елемент на дві рівні частини?
2. Як формуються підсхеми?
3. Для чого необхідно перенумеровування вузлів і елементів та як воно виконується?
4. Дайте визначення «просторової» конструкції.
5. В чому різниця «просторової» конструкції від «масивної»?
6. Поясніть вплив на міцність бетону тривалих і багаторазово повторюваних навантажень.
7. Поясніть вплив на міцність бетону високих і низьких температур.
8. Поясніть вплив вологи на деформації бетону і початкові напруження при твердінні.
9. Які деформації бетону виникають при тривалій дії навантаження?
10. Які деформації бетону виникають під дією багаторазового повторюваного навантаження?

### 3. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану елементів залізобетонних конструкцій

#### 3.1 Ферми безрозкісні

##### Вихідні дані

Схема ферми, характер зовнішнього навантаження і основні геометричні розміри наведено на рисунках 3.1 і 3.2.



Матеріал: бетон важкий В30

Рис. 3.1

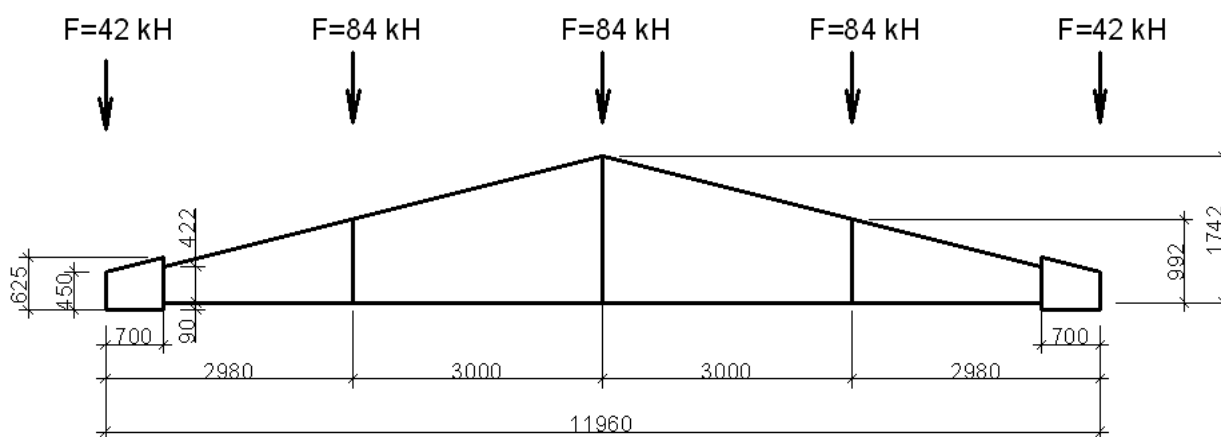


Рис. 3.2

##### Завдання

Для заданої схеми завантаженої ферми, за допомогою SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

- сформувати розрахункову плоску пластинчасто-стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані та результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактор Microsoft Word з пакету MS Office і виконати експорт.

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

### Запуск розрахункового комплексу

Для цього активізуємо піктограму SCAD.

### Створення проекту

Створюємо новий проект, обираємо тип схеми **2 – Плоска рама**.

### Формування розрахункової схеми

Формування стержневої частини ферми



Розкриваємо вкладку **Схема** і натискаємо на кнопку **Генерація прототипу ферми**. В результаті на екрані з'являється діалогове вікно **Конфігурація поясів ферми** (рис. 3.3).

Відмічаємо пункт **Двускатна ферма** і натискаємо кнопку **ОК**.

В діалоговому вікні **Параметри ферми** (рис. 3.4) вводимо параметри геометричної схеми ферми: **Проліт ферми (L)** – (12), **Висота ферми (H)** – (0.242), **Кількість панелей** – (4), **Кут нахилу (a)** – (14). В правій частині діалогового вікна представлені на вибір ферми з різними типами решіток. Обираємо потрібний тип решітки та натискаємо кнопку **ОК**.

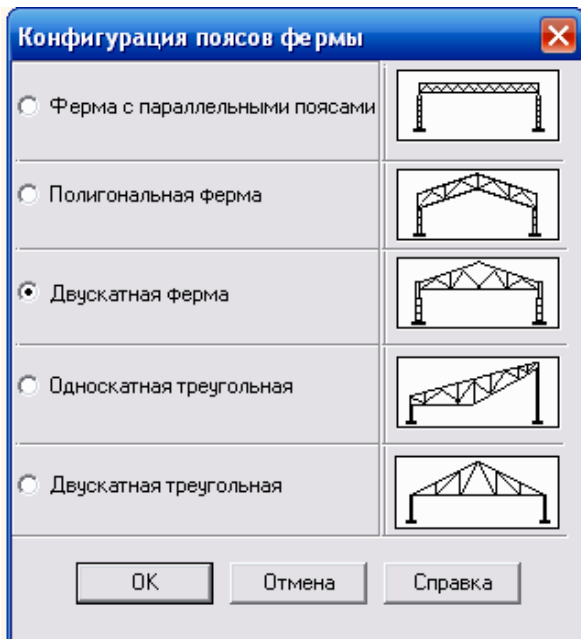


Рис. 3.3

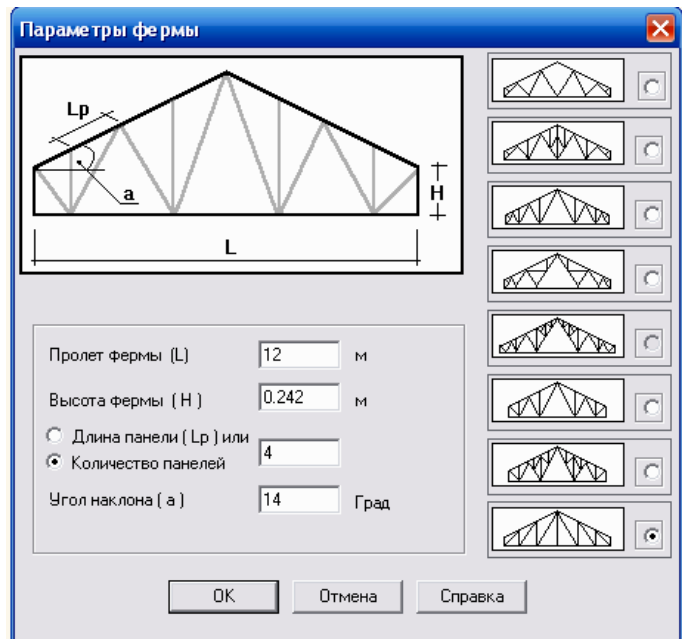


Рис. 3.4

В результаті отримуємо прототип стержневої частини ферми (рис. 3.5).

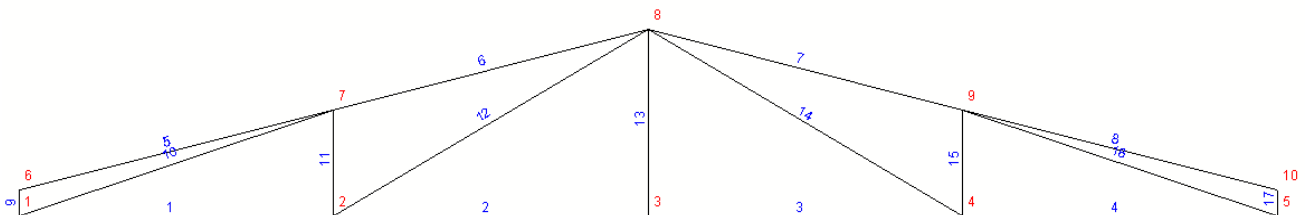








Рис. 3.5

### Коригування отриманої схеми

Відкриваємо вкладку **Вузли та елементи** головної панелі інструментів.

Видаляємо зайві елементи. Для цього активізуємо кнопку **Елементи**  і натискаємо кнопку **Видалення елементів** . Відмічаємо курсором на розрахунковій схемі елементи 9, 10, 12, 14, 16, 17. Натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Так як довжина панелі стержневої частини рівна 2.28 м, необхідно перемістити вузли. Для цього відкриваємо вкладку **Вузли та елементи** головної панелі інструментів і натискаємо

кнопку **Вузли** . У вікні, що з'явилось, натискаємо **Перенесення вузлів** . В розділі **Зміщення/Координати** у вікні **Перенос вузлів** (рис. 3.6) задаємо зміщення **dX(0.72)**. Решту пунктів залишаємо за замовчуванням. Натискаємо **ОК**. Далі, відмітивши на схемі вузол **1**, натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі. Подібну операцію необхідно виконати для вузлів: **5 (dX (-0.72)); 6 (dX (0.72), dZ(0.18)); 10 (dX (-0.72), dZ (0.18))**, задавши при цьому вказані значення зміщень.

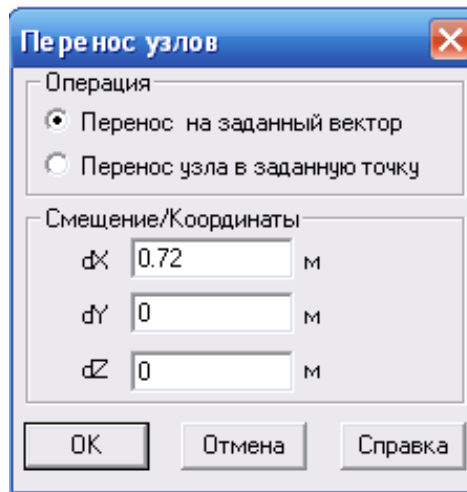





Рис. 3.6

Перемістимо початок загальної системи координат у вузол **1**. Для цього натискаємо кнопку **Перенесення початку координат у заданий вузол** . У діалоговому вікні **Перенесення початку системи координат** залишаємо установки за замовчуванням. Натискаємо **ОК**.

Відмічаємо на схемі вузол **1** і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

### Перенумеровування вузлів та елементів

Для цього у вкладці **Управління** натискаємо кнопку **Упакування даних** . На питання вікна **SCAD Видаляти вузли, що не належать елементам?** Натискаємо **Так** і отримуємо схему стержневої частини ферми (рис. 3.7).

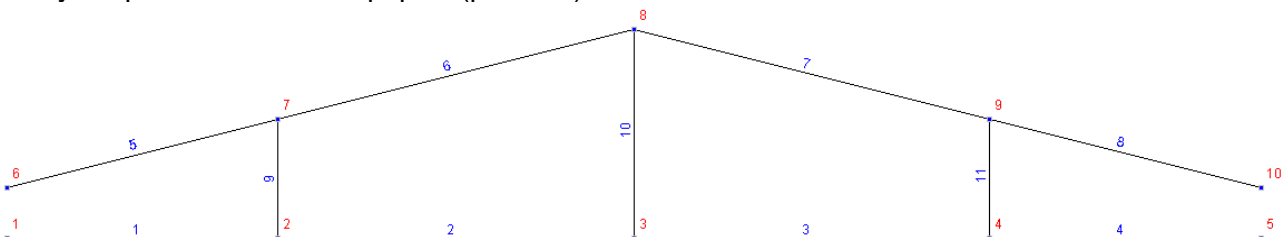




Рис. 3.7


### Формування пластинчастої частини ферми


Для задавання пластинчастих елементів вводимо вузли. Для цього відкриваємо вкладку


**Вузли і Елементи** і натискаємо кнопку **Вузли** . У вікні, що відкрилося, активізуємо

**Введення вузлів** . У вікні **Введення вузлів** послідовно вводимо вузли за координатами  $X, Y, Z$ , відповідно для лівої пластинчастої частини  $(0;0;-0.09)$ ,  $(-0.7;0;-0.09)$ ,  $(-0.7;0;0.36)$ ,  $(0;0;0.535)$ ,  $(0;0;0.309)$  та  $(0;0;0.09)$  і для правої частини  $(10.56;0;0.535)$ ,  $(11.26;0;0.36)$ ,  $(11.26;0;-0.09)$ ,  $(10.56;0;-0.09)$ ,  $(10.56;0;0.09)$  і  $(10.56;0;0.309)$ . Після задавання чергових трьох координат натискаємо кнопку **Додати**. Потім закриваємо діалогове вікно.

Далі необхідно задати пластини. Для цього розкриваємо вкладку **Схема** і натискаємо кнопку **Генерація трикутної сітки елементів на площині** . У наборі кнопок, що

з'явилися, натискаємо кнопку **Задавання контуру** . Далі обводимо «гумовою ниткою» опорні вузли зовнішнього контуру, для лівої пластинчастої частини це будуть вузли: 11,12,13,14. Проміжні вузли, що лежать на прямій, можна не вводити, а достатньо лише вказати крайні. Закриття контуру можна виконати подвійним натисканням миші після введення останнього вузла або натисненням курсору на перший вузол. Далі натискаємо

кнопку **Генерація трикутної сітки (СЕ) на площині**  і у вікні **Автоматична триангуляція** (рис. 3.8.) в розділі **Призначення кроку триангуляції** у поле **Крок триангуляції** вводимо значення 0.1. Далі натискаємо кнопку **Жорсткості** і в діалоговому вікні **Жорсткості пластин** в розділі **Матеріал** обираємо зі списку **Бетон важкий В30**; в розділі **Параметри**, в пункті **Товщина пластин** задаємо **0.2**. Натискаємо **ОК**. Потім натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна **Автоматичної триангуляції** і бачимо на екрані результати триангуляції. Наступним кроком буде приєднання результатів триангуляції до схеми, для цього натискаємо **Установка**

**результатів триангуляції на місце в схемі** . У вікні повідомлення **SCAD** натискаємо кнопку **ОК**. Для виходу з режиму генерації знову натискаємо кнопку **Генерація трикутної**

**сітки (СЕ) на площині** .

Аналогічно формується права пластинчаста частина ферми.

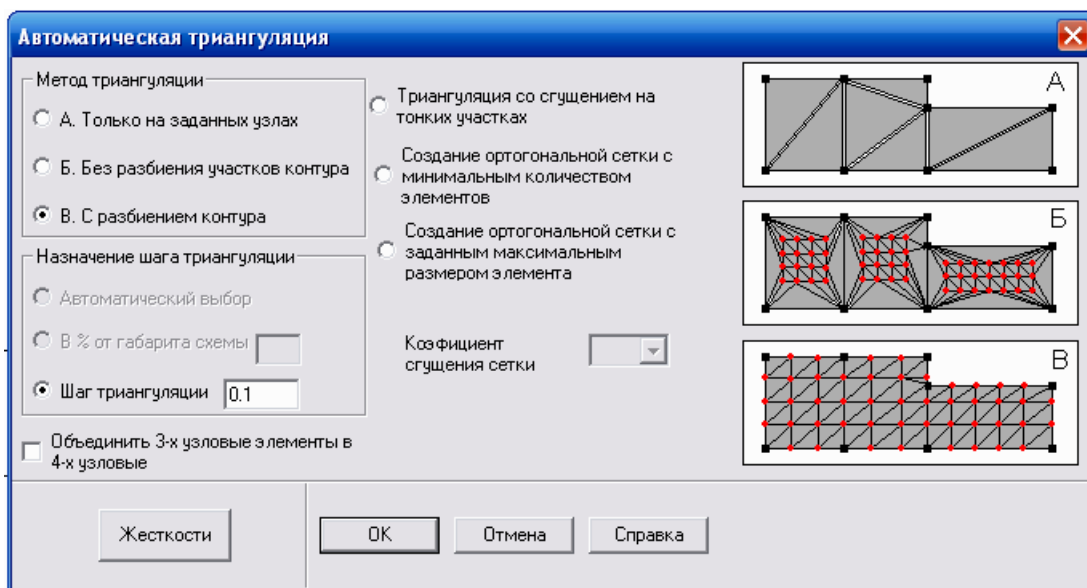


Рис. 3.8

### Зберігання проекту

Для зберігання проекту відкриваємо вкладку **Управління** і натискаємо кнопку **Зберегти поточний проект**.

На екрані з'являється схема, яка зображена на рис. 3.9.

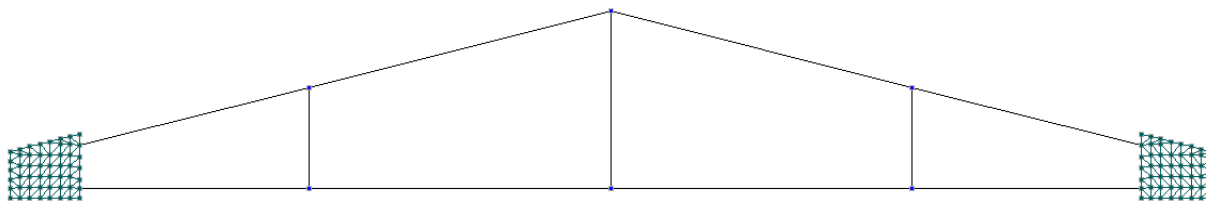


Рис. 3.9

#### Задавання елементів, які перешкоджають кутовому переміщенню

Згідно рекомендаціям зі створення розрахункових схем, для жорсткого з'єднання пластин із стержнями необхідно введення додаткових елементів в області примикання. Схема такого перетворення показана на рис. 3.10.

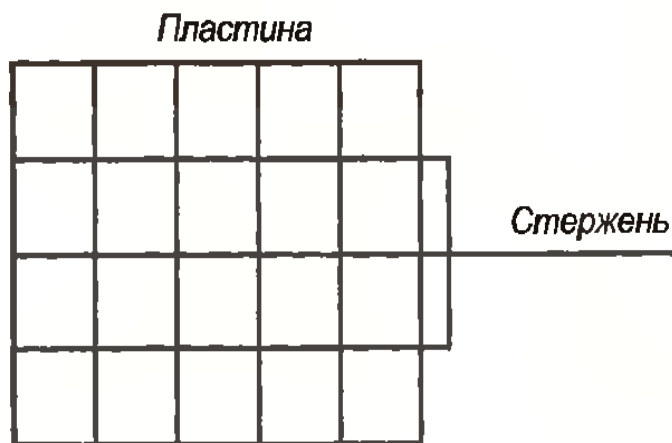


Рис. 3.10

Додаємо додаткові вузли. Для цього відкриваємо вкладку **Вузли і Елементи** і натискаємо кнопку **Вузли** . У вікні яке відкрилося натискаємо кнопку **Ввести вузли на заданій відстані від відмічених** . На екрані з'являється діалогове вікно **Введення вузлів**. В поле **dX** вводимо значення **0.015**, а в поле **Кількість** – значення **1**. Натискаємо кнопку **ОК**. Застосовуємо інструмент **Збільшення зображення** який розташований на панелі **Візуалізація**. Відмічаємо на схемі вузли 14,6,15,16,1,11 і натискаємо кнопку **Підтвердити** інструментальної панелі. Аналогічну операцію проробимо і справа (для вузлів 17,10,22,21,5,20.), вказавши в полі **dX** значення **-0.015**.



#### Коригування схеми

Видаляємо стержні 5,8,1,4. Для цього відкриваємо вкладку **Вузли і Елементи** і натискаємо кнопку **Елементи** . В наборі кнопок, які відкрилися натискаємо кнопку **Видалення елементів** . Відмічаємо на схемі стержні 5,8,1,4 і натискаємо кнопку **Підтвердження** інструментальної панелі.


Далі задаємо стержні через вузли:


для лівої частини 110 і 7; 14 і 112; 6 і 110; 15 і 113; 113 і 110; 110 і 112; 16 і 114; 1 і 109; 11 і 111; 109 і 2; 111 і 109; 109 і 114;



для правої частини 9 і 116; 120 і 116; 116 і 117; 117 і 17; 116 і 10; 120 і 22; 4 і 115; 118 і 115; 115 і 119; 119 і 21; 115 і 5; 118 і 20. Для цього відкриваємо вкладку **Вузли і Елементи** і

натискаємо кнопку **Елементи** . В наборі кнопок, які відкрилися натискаємо кнопку **Додавання стержнів** . Далі встановлюємо курсор на вузол 110, натискаємо ліву кнопку миші, курсором «тягнемо нитку» від вузла 110 до вузла 7 і знову натискаємо ліву кнопку миші. Потім таким же чином з'єднуємо вузли, які були перераховані вище.

#### Задавання жорсткості елементів

Для задавання жорсткості стержнів заходимо до вкладки **Призначення** головної панелі інструментів. Натискаємо кнопку **Призначення жорсткості стержням** . В діалоговому вікні **Жорсткості стержневих елементів** активізуємо перемикач **Параметричний переріз** і у вкладці, яка з'явилася задаємо параметри. Із нижхідного списку розділу **Матеріал** вибираємо **Бетон важкий В30**, потім вибираємо тип поперечного перерізу (суцільний прямокутний), Вводимо розміри **b (20)** і **h (22)** і натискаємо кнопку **Контроль**. Діалогове вікно матиме вигляд, як на рис. 3.11. Далі натискаємо кнопку **ОК**.

Тепер встановлюємо жорсткість елементам схеми. Для цього курсором відмічаємо всі стержневі елементи верхнього поясу і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі. В результаті елементам верхнього поясу призначається жорсткість першого типу.

Далі аналогічно всім вертикальним стержням призначаємо жорсткість другого типу. Для цього в тій самій вкладці **Призначення** натискаємо кнопку **Призначення жорсткості стержням** . У діалоговому вікні **Призначення жорсткості стержням** активізуємо перемикач **Параметричні перерізи**. Із нижхідного списку розділу **Матеріал** вибираємо **Бетон важкий В30**, потім – тип поперечного перерізу (суцільний прямокутний), вводимо розміри **b (15)** і **h (18)** і натискаємо кнопку **Контроль**. Далі натискаємо кнопки **ОК** і **Підтвердження**  інструментальної панелі.

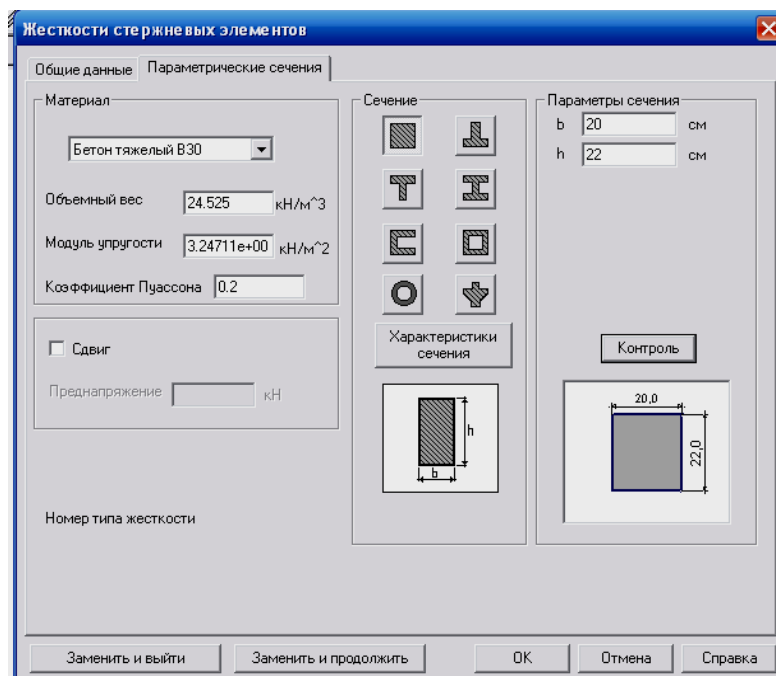





Рис. 3.11

Аналогічно призначаємо третій тип жорсткості елементам нижнього поясу, задаємо розміри перерізу: **b (20)**, **h (18)**. Відмічаємо елементи нижнього поясу на схемі і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

### Призначення типів скінченних елементів

Для генерації скінченно-елементної моделі відкриваємо вкладку **Призначення** і натискаємо кнопку **Призначення типів скінченних елементів** . В діалоговому вікні, яке з'явилося **Призначення типу елемента** (рис. 3.12) вибираємо в розділі **Стержень** пункт **2 Стержень плоскої рами**. Натискаємо **ОК**.

Далі виділяємо курсором на схемі всі стержневі елементи. Закінчуємо присвоєння заданого типу скінченних елементів натисканням кнопки **Підтвердження**  інструментальної панелі.

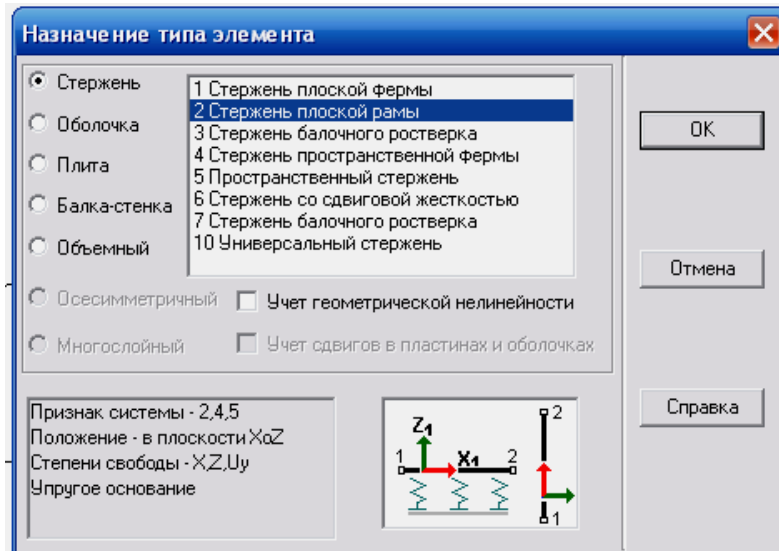



Рис. 3.12

Пластинам також необхідно призначити тип скінченних елементів. Вибираємо **25 Трикутний (до 6 вуз.) СЕ балки-стілки**, активізувавши розділ **Балка-стілка** діалогового вікна **Призначення типу елемента**.

### Накладання в'язей в опорних вузлах ферми

Для виконання цієї операції в розділі **Призначення** інструментальної панелі кнопкою **Встановлення в'язей у вузлах** викликаємо діалогове вікно **В'язі**. В режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X**, **Z** (рис. 3.13) і натискаємо кнопку **ОК**. Позначаємо курсором на схемі вузол:

12 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі, тим самим забезпечуючи шарнірно-нерухоме закріплення опорного вузла в площині  $XoZ$ . Для вузла 19 в діалоговому вікні **В'язі** активізуємо лише кнопку **Z**. Візуальний контроль правильності розташування в'язей виконуємо натисканням

кнопки **В'язі**  на панелі **Фільтри відображення**.

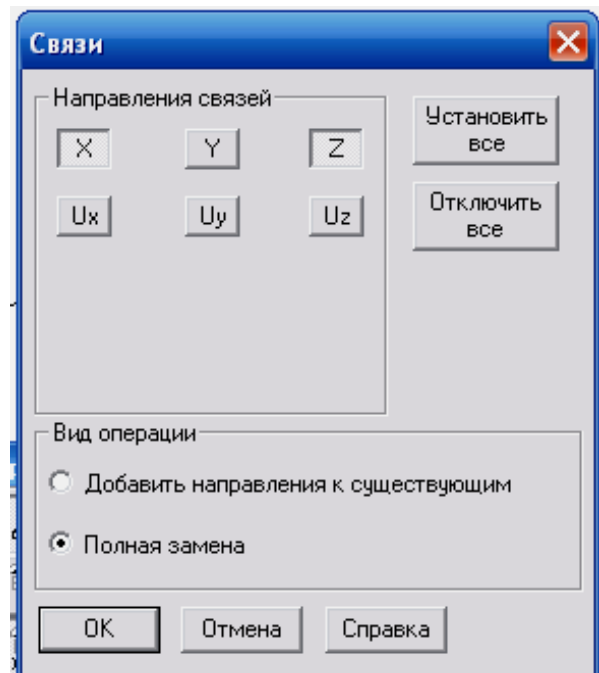


Рис. 3.13



### Задавання завантажень ферми

1. Задавання зосередженого навантаження на вузли 13 і 18: у вкладці **Завантаження**

кнопкою **Вузлові навантаження**  викликаємо діалогове вікно (рис. 3.14).

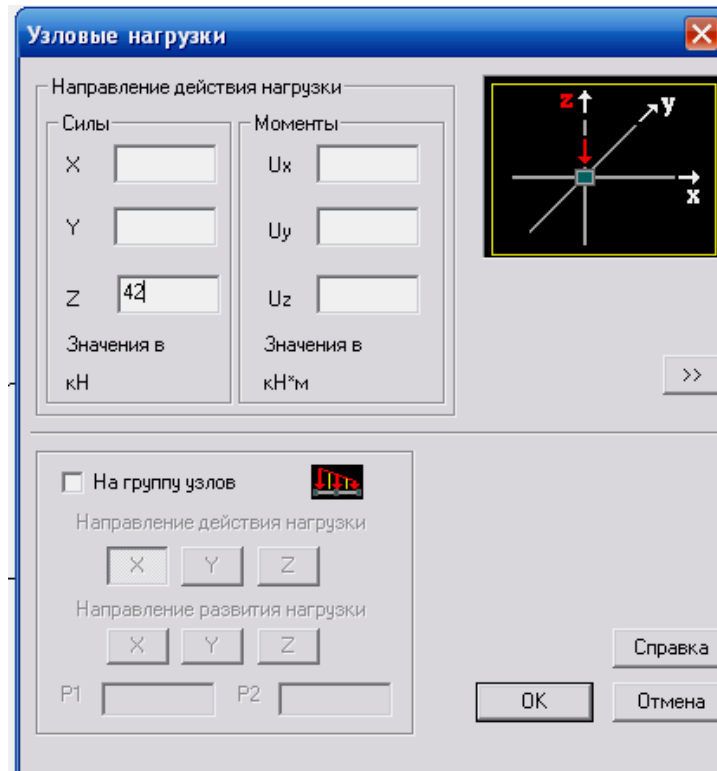



Рис. 3.14


В підрозділі **Сили** розділу **Напрямок дії навантаження** вводимо в пункті **Z** значення навантаження (**42**). Натискаємо кнопку **OK** діалогового вікна. Виділивши на схемі вузли 13 і 18,


натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Задавання зосередженого навантаження на вузли 7, 8 і 9: у вкладці **Завантаження** кнопкою **Вузлові навантаження** викликаємо однойменне діалогове вікно, де в підрозділі **Сили** розділу **Напрямок дії навантаження** вводимо в пункті **Z** значення навантаження (**84**). Натискаємо кнопку **OK** діалогового вікна. Відмічаємо на схемі вузли 7,8,9 і натискаємо кнопку





**Підтвердження**  інструментальної панелі.

Записуємо створене навантаження. Для цього натискаємо кнопку **Зберегти/Додати навантаження**  інструментальної панелі. В діалоговому вікні **Зберегти навантаження** вводимо ім'я навантаження (**Корисне навантаження**), номер навантаження (**1**) і натискаємо кнопку **OK**. На екрані монітора в діалоговому вікні **SCAD** з'являється запитання **Перейти до формування наступного навантаження?** У відповідь натискаємо кнопку **Так**.


3. Завантаження власною вагою виконуємо натисканням кнопки **Власна вага** , яка знаходиться у вкладці **Завантаження**.

Записуємо створене завантаження. Для цього натискаємо кнопку **Зберегти/Додати навантаження**  інструментальної панелі. У діалоговому вікні **Зберегти навантаження** вводимо ім'я навантаження (**Власна вага**), номер навантаження (**2**) і натискаємо кнопку **OK**. На запитання діалогового вікна **SCAD** **Перейти до формування наступного навантаження?** Відповідаємо **Ні**.

Відображенням навантажень на схемі керуємо кнопками панелі **Фільтри відображення:**

**Вузлові навантаження** , **Розподілені навантаження** , **Зосереджені навантаження** , **Значення навантажень** .

### *Задавання розрахункових сполучень зусиль*

У вкладці **Управління** натискаємо кнопку **Увійти в екран управління проектом** . Розкриваємо зміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натисканням на знак «+») розділу **Вихідні дані** дерева проекту. Активізуємо пункт **Розрахункові сполучення зусиль** і в однойменному вікні в колонці **Тип** таблиці **Завантаження** для корисного навантаження обираємо із низхідного списку тип **Короткочасне довготривале діюче**. Закінчуємо роботу з вікном натисканням кнопки **ОК**.

### **Статичний розрахунок**

Після створення розрахункової моделі споруди виконуємо її статичний розрахунок. Для цього входимо в дерево проекту за допомогою розділу **Управління** і кнопки **Увійти в екран управління проектом**. Активізуємо пункт **Лінійний** розділ **Розрахунок дерева проекту**. В діалоговому вікні **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**. На питання діалогового вікна **SCAD Проект був модифікований. Зберегти зміни?** Відповідаємо **Так**.

Після закінчення розрахунку необхідно ознайомитись з інформацією вікна **Протокол виконання розрахунку** (рис. 3.15). Якщо розрахунки виконано вірно, в протоколі виводиться «**Завдання виконано**». Далі натискаємо кнопку **Вихід** і переходимо до дерева проекту для аналізу результатів розрахунку.

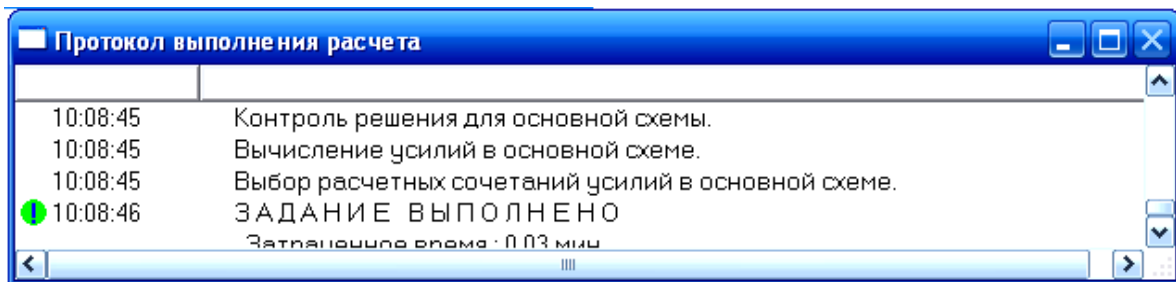



Рис. 3.15

### **Перегляд результатів статичного розрахунку**

В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в позицію **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора. Переглядаємо деформовану схему рами на фоні не деформованої. Для цього у вкладці **Деформації** натискаємо кнопку **Спільне відображення**

**вихідної і деформованої схеми** , в результаті чого на екрані отримуємо зображення представлене на рис. 3.16.

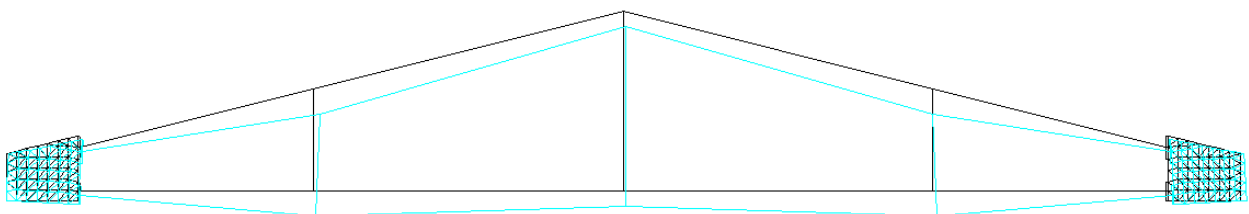



Рис. 3.16

У вкладці **Епюри зусиль** зі списку **Вибір виду зусиль** вибираємо **M**, а із списку **Вибір навантаження** – **L1 Корисне навантаження**. Натискаємо кнопку **Епюри зусиль**  інструментальної панелі і отримуємо епюру згинальних моментів **M** (рис. 3.17.). Для отримання значень максимальних зусиль в стержнях натискаємо кнопку **Кольорова індикація позитивних значень зусиль**  або кнопку **Кольорова індикація негативних значень зусиль** . Аналогічно можна вивести на екран епюру повздовжніх і поперечних зусиль (**N,Q**), вибравши їх із низхідного списку **Вибір виду зусиль**.

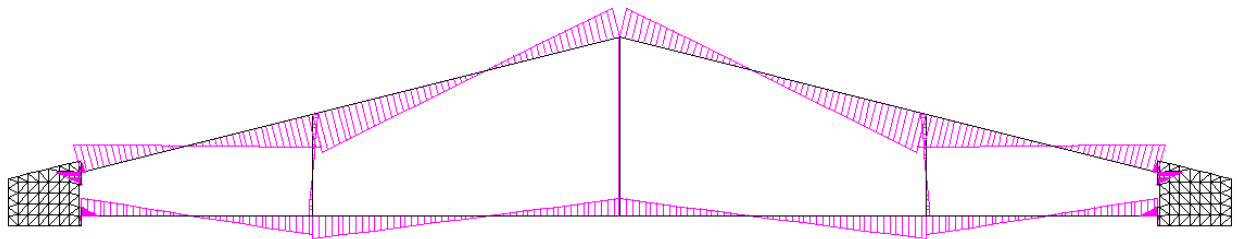

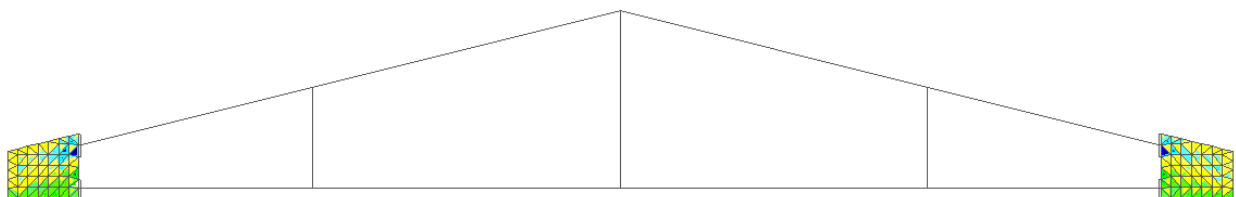


Рис. 3.17

Для отримання полів напруження в пластинах ферми у вкладці **Поля напруження** із списку **Вибір виду напруження** вибираємо **NX**, а із списку **Вибір Завантаження** – **L1 Корисне навантаження**. Натискаємо кнопку **Відображення ізopolів напружень**  (рис. 3.18).



**NX (Т/м<sup>2</sup>)**

Вкл.

|                                     |         |         |
|-------------------------------------|---------|---------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | -799,22 | -685,78 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -685,78 | -572,34 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -572,34 | -458,9  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -458,9  | -345,46 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -345,46 | -232,02 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -232,02 | -118,57 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -118,57 | -5,13   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -5,13   | 108,31  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 108,31  | 221,75  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 221,75  | 335,19  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 335,19  | 448,63  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 448,63  | 562,07  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 562,07  | 675,51  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 675,51  | 788,96  |

Управление шкалами

Применить Сохранить


Фрагментировать Закреть


Рис. 3.18

Епюри і значення внутрішніх зусиль в стержнях отримані відносно відповідних місцевих координатних систем **X1 Y1 Z1**.



### Підготовка результатів розрахунку для наступного експорту


У звіт, створюваний SCAD, включаємо результати проведених розрахунків. Наприклад, для зберігання розрахункової схеми у вкладці **Деформації** або у вкладці **Епюри зусиль** (на вибір користувача) активізуємо **Відображення розрахункової схеми**

, при цьому розрахункова схема не буде відображена повністю до тих пір поки не будуть активізовані відповідні кнопки панелі

**Фільтри відображення** : **Номера вузлів** , **Номера елементів**


, **Номера типів жорсткості** , **В'язі** , **Шарніри** ,

**Вузли** , **Вузлові навантаження** , **Розподілені**

навантаження , **Зосереджені навантаження**  і ін. Після найбільш повного відображення на екрані розрахункової схеми переходимо до вкладки **Управління** і натискаємо на кнопку **Зберігання образу екрану** , де в запропонованому вікні **Текст коментаріїв** вводимо **Розрахункова схема**, а потім в діалоговому вікні **Зберігання образу екрану** – ім'я файлу.

Подібні операції здійснюються для всіх необхідних для звіту графічних даних (епюри внутрішніх зусиль висхідної і деформованої схем рами).

Далі переходимо до вкладки **Управління** і натискаємо на кнопку **Увійти в екран**

**управління проектом** . В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Документація**, в результаті чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів**. Кожній кнопці керування відповідає діалогове вікно для налаштування таблиць окремого виду. Всі вікна, окрім вікна налаштування таблиць вихідних даних, мають однаковий набір елементів керування і єдині правила роботи. Розглянемо роботу з вікнами на прикладі вікна налаштування таблиць з вихідними даними.

Ставимо галочку навпроти напису **Вся схема**, яка активізує відображення всіх вузлів і елементів схеми.


Далі в лівій частині вікна активізацією відповідних кнопок керування вказуємо відображену інформацію в кожному пункті. Наприклад, при натисканні на кнопку **Вихідні дані** відмічаємо пункти: **Жорсткості**, **Величини навантаження**. Далі натискаємо **Ілюстрації** і додаємо в праве поле вікна схему, яка входить до звіту. Так, наприклад, в розділ **Вихідні дані** включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділ **Переміщення** – вихідну і деформовану схему рами, а в розділ **Зусилля і навантаження** – епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення** і **Зусилля і навантаження** відмічаємо пункт **Вся схема**. Закінчуємо роботу з вікнами натисканням кнопки **ОК**.

#### **Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word**

Дані, які необхідні для звіту, експортуємо MS Word. Для цього натискаємо **Створити документ MS Word** діалогового вікна Виведення **результатів**, при цьому із запропонованих версій редактора - **MS Word 7.0** і **MS Word 97** – вибираємо **MS Word97**.

Далі вказуємо ім'я файлу результатів розрахунку.

#### **Вихід з обчислювального комплексу**

Для виходу із розрахункового комплексу натискаємо **Вихід із SCAD** . На питання **Завершити роботу?** вікна повідомлення SCAD відповідаємо **Так**.

#### **Контрольні питання**

1. Що таке ферма?
2. Назвіть основні види ферм.
3. Назвіть основні елементи ферм.
4. Як прикладається навантаження до ферм?
5. Яким чином перейменувати вузли і елементи?
6. Як формують пластинчасту частину ферми?
7. Як призначають тип скінчених елементів?
8. В чому відмінність сегментних ферм від арочних?
9. Особливості розрахунку сегментних, арочних та безрозкісних ферм.
10. Як відбувається армування елементів ферм та їх вузлів?

## 3.2. Балки двоскатні решітчасті

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, схема балки і основні геометричні розміри стосовно типових балок серії 1.462-3 приведені на рис. 3.19. Матеріал – бетон важкий В30.

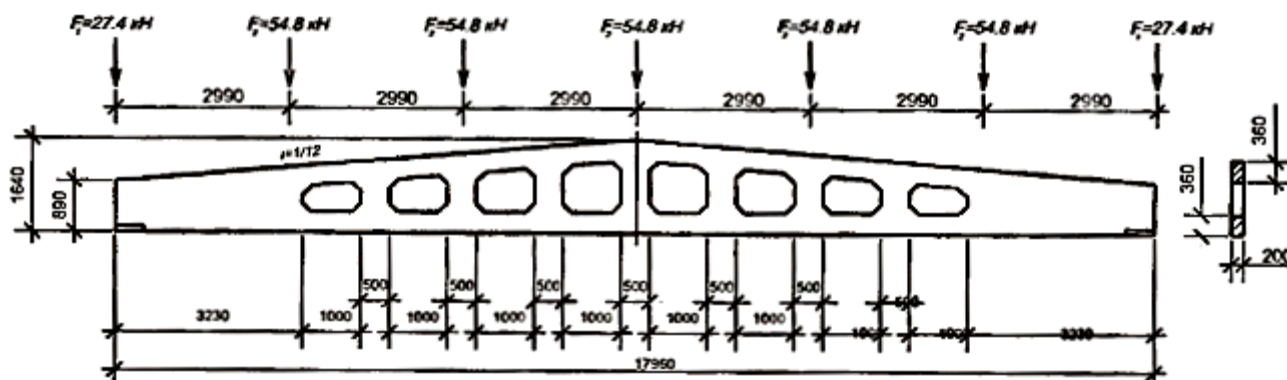


Рис. 3.19

### Завдання

Для вказаної схеми навантаженої балки за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі завдання:

- сформувати її розрахункову об'ємну скінченно-елементну модель;
- визначити напружено-деформований стан моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного напружено-деформованого стану моделі;
- підготувати початкові дані і результати розрахунку (у тому числі графічне) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і здійснити експорт.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

#### Запуск обчислювального комплексу

Для запуску обчислювального комплексу активізуємо піктограму **SCAD**.

#### Формування розрахункової схеми

*Імпорт геометрії розрахункової схеми з програми AutoCAD.*

Підготуємо креслення балки в програмі AutoCAD (Autodesk, Inc™), використовуючи графічні примітиви 3DFACE, SOLID, TRACE, LINE, POLYLINE, LWPOLYLINE, ELLIPSE, CIRCLE, ARC. На кресленні не повинно бути ніяких розмірів або інших позначень. Файл зберігаємо у форматах DWG або DXF в директорії з проектами SCAD. Зазвичай вона розташовується **C:\SDATA**.

Далі, знаходячись у вікні комплексу SCAD, активізуємо пункт **Проект** головного меню програми. Вибираємо пункти **Імпорт**→**DWG, DXF**. На екрані з'являється діалогове вікно **Імпорт DXF файлу**. Знаходячись в директорії SDATA, вибираємо збережений раніше файл і його формат із низхідного списку **Тип файлів**. Потім натискаємо в діалоговому вікні кнопку **Відкрити**. У вікні **Одиниці вимірів** вибираємо розмірність, якою користуватимемося (м, см, кН), а потім додаємо ще одну значущу цифру в число, що означає точність лінійних розмірів. Для цього натискаємо кнопку **|>** проти пункту **Лінійні розміри**. Натискаємо кнопку **ОК**. На екрані з'являється діалогове вікно **Одиниці виміру** у файлах AutoCAD. Вибираємо одиниці, в яких виконано креслення із низхідного списку і натискаємо кнопку **ОК**. На екрані з'являється дерево проекту, в якому активізуємо пункт **Розрахункова схема**.

#### *Коригування отриманої схеми*

У вкладці **Схема** активізуємо **Геометричні перетворення**  а в ньому:

- пункт **Ux** розділу **Поворот навколо заданої осі** і вводимо значення кута повороту 90°.
- Діалогове вікно приймає вигляд, представлений на рис. 3.20.

Далі натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна.  
У графічному полі вікна програми з'являється схема (рис. 3.21).

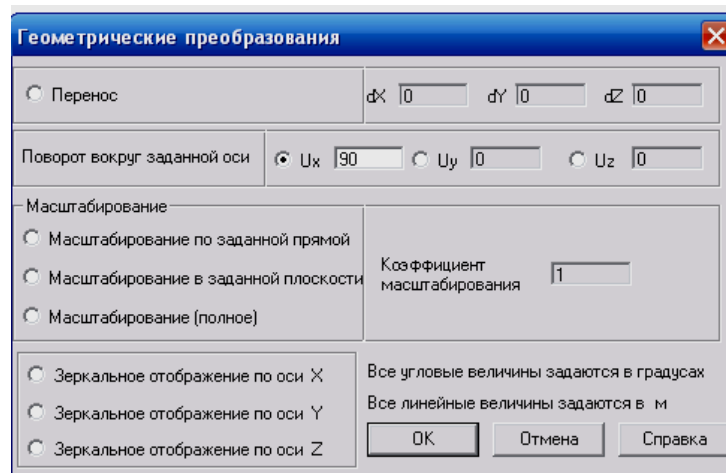


Рис. 3.20

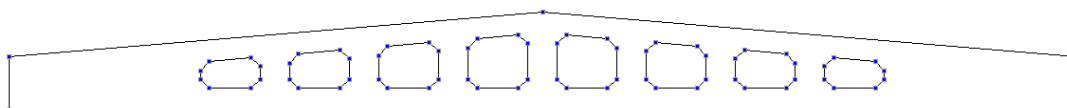


Рис. 3.21

#### Формування пластинчастої моделі балки

У вкладці **Схема** натискаємо кнопку **Генерація трикутної сітки елементів на площині**



а в панелі інструментів режиму генерації, що розкривається, - **Задавання контуру**



Далі обводимо «гумовою ниткою» опорні вузли контурів, так, для зовнішнього контуру це будуть вузли 5, 1, 2, 3, 4, а для внутрішніх – [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]; [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21] і так далі. Замикання контуру виконуємо подвійним натисканням кнопки миші після введення останнього вузла або ж вказівкою на перший вузол.



Далі натискаємо кнопку **Генерація трикутної сітки SE на площині** і в діалоговому вікні, що відкрилося, **Автоматична триангуляція** в розділі **Призначення кроку триангуляції** вводим в поле **Крок триангуляції** значення **0.1**. Діалогове вікно набуває вигляду, представленого на рис. 3.22.

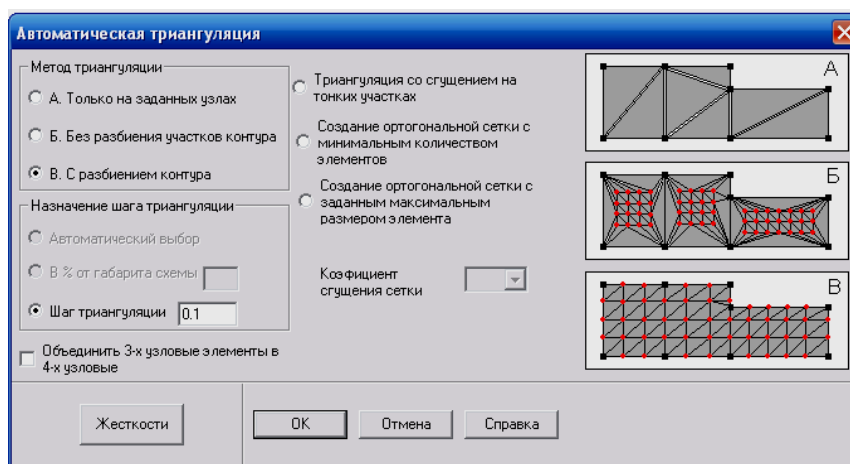







Рис. 3.22


Натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна.

Для приєднання результатів триангуляції до схеми натискаємо **Установка результатів триангуляції на місце в схемі** . У повідомленні SCAD, що з'явилося, **Установка виконана** натискаємо **ОК**. Для виходу з режиму генерації знову натискаємо кнопку **Генерація трикутної сітки SE на площині** .


#### Коригування схеми

Спочатку видаляємо стержневі елементи, які служили нам контуром. Заходимо до вкладки

**Вузли і Елементи** і натискаємо **Елементи**  в наборі кнопок натискаємо **Видалення елементів** . На панелі **Фільтри відображення** залишаємо натиснуту кнопку **Стержні** , а інші - деактивізуємо. У графічному полі вікна програми будуть відображені тільки стержневі елементи. Натискаємо праву кнопку миші, розташувавши курсор в графічному полі вікна програми.


З'являється контекстне вікно **Вибір вузлів і елементів**. Далі натискаємо **Інвертувати вибір елементів**. Усі елементи забарвлюються в червоний колір. Потім натискаємо кнопку **ОК** у вікні, а на завершення – **Підтвердження**  інструментальної панелі.

#### Упаковка даних

У вкладці **Управління** натискаємо кнопку **Упаковка даних** . На питання в вікні повідомлення SCAD **Видалити вузли що не належать елементам** відповідаємо **Так**.

#### Формування об'ємної моделі балки

Розташувавши курсор в графічному полі вікна програми, виділяємо елементи, натискаючи праву кнопку миші. У контекстному вікні **Вибір вузлів і елементів** натискаємо **Інвертувати вибір елементів**. Усі елементи забарвлюються в червоний колір.

Заходимо до вкладки **Схема** і натискаємо **Копіювання схеми** . В діалоговому вікні **Копіювання схеми** в пункті **Копіювати у напрямі** активізуємо кнопку **У**. В комірки **Крок і Кількість** вводимо відповідно **0.1** і **2**. Натискаємо **ОК** діалогового вікна. У вікні повідомлення SCAD з'являється питання **Зберегти результати копіювання?** У відповідь натискаємо **Так**.

#### Призначення жорсткостей елементам

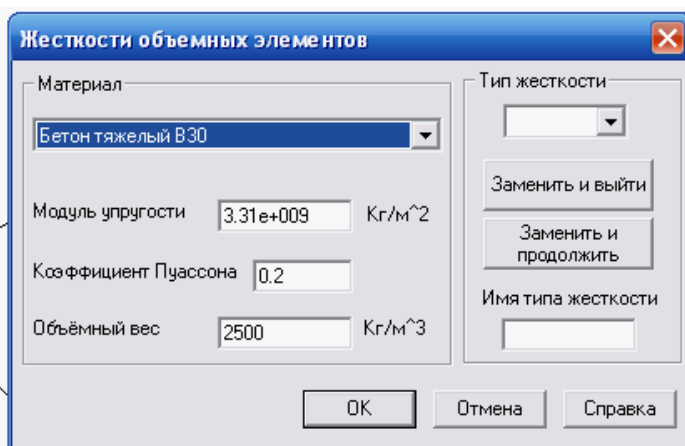




Рис. 3.23

Заходимо до вкладки **Призначення** головної панелі інструментів і натискаємо **Призначення жорсткостей об'ємним**

**елементам** . У низхідному списку розділу **Матеріал** діалогового вікна **Жорсткості об'ємних елементів** вибираємо **Бетон важкий В30** (рис. 3.23). Натискаємо кнопку **ОК**. Для виділення елементів натискаємо праву кнопку миші,

розташувавши курсор в графічному полі вікна програми. У контекстному вікні **Вибір вузлів і елементів** вибираємо **Інвертувати вибір елементів**. Усі елементи забарвлюються в червоний колір. Потім натискаємо кнопку **ОК**. Для привласнення призначеного типу жорсткості активізуємо **Підтвердження**  інструментальної панелі.

### Накладання в'язей в опорних вузлах балки

В розділі **Призначення** інструментальної панелі за допомогою кнопки **Встановлення зв'язків у вузлах** викликаємо діалогове вікно **Зв'язки**. У режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X**, **Z** (рис. 3.24) і натискаємо **ОК**. Визначаємо курсором на схемі вузли: 5, 2084, 4163 і натискаємо кнопку **Підтвердження** інструментальної панелі, тим самим забезпечуємо шарнірно-нерухоме закріплення опорних вузлів в площині  $XoZ$ . Аналогічно призначаємо зв'язки у вузлах 4, 2083, 4162, встановивши напрям **Z**.

Візуальний контроль правильності постановки опорних зв'язків виконуємо натисненням кнопки **Зв'язки** на панелі **Фільтри відображення**.

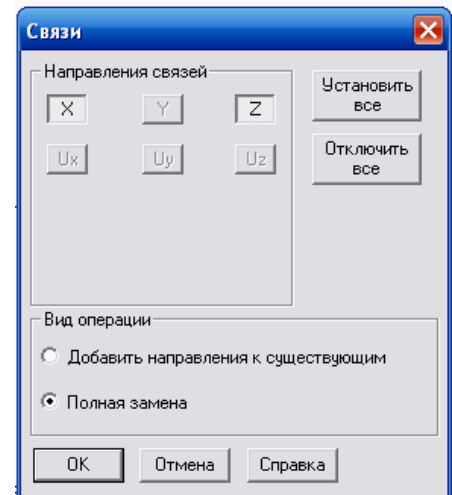


Рис. 3.24

### Задавання завантажень балки

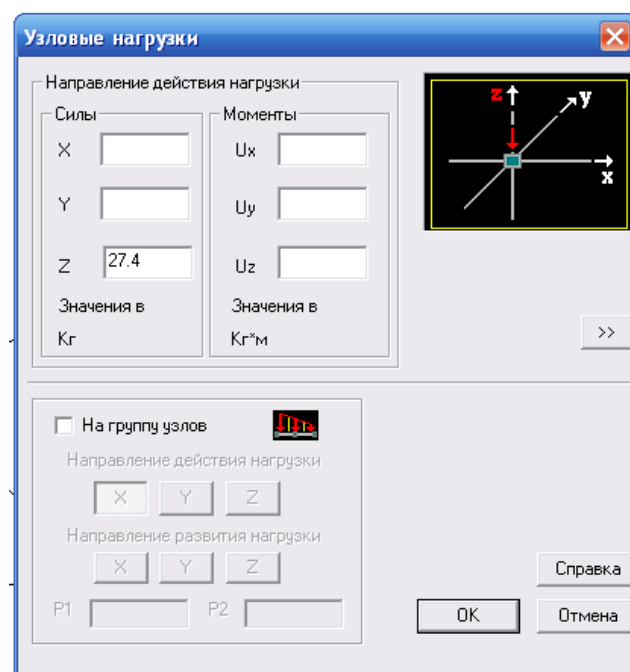
1. Задавання завантаження власною вагою. Для цього

переходимо до вкладки **Завантаження** і натискаємо кнопку **Власна вага**.

Записуємо створене завантаження в проект, натискаючи **Зберегти/Додати завантаження**. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Власна вага**, номер завантаження **1** і натискаємо **ОК**. У діалоговому вікні SCAD **Перейти до формування наступного завантаження** натискаємо **Так**.

2. Задавання завантаження зосередженим навантаженням. Натискаємо **Вузлові навантаження** і в діалоговому вікні (рис. 3.25) вводимо в пункт **Z** розділу **Сили** значення **27.4**. Вибираємо на схемі вузли 1, 2080, 4159, 3, 2082, 4161 і натискаємо кнопку **Підтвердження** інструментальної панелі.

Далі, повторно натиснувши **Вузлові навантаження**, вводимо в діалоговому вікні **Вузлові навантаження** в пункт **Z** розділу **Сили** значення **54.8**. Вибираємо на схемі вузли 107, 2186, 4265, 137, 2216, 4295, 2, 2081, 4160, 196, 2275, 4354, 226, 2305, 4384 і натискаємо





кнопку **Підтвердження** інструментальної панелі. Усі вузли розташовані по центру стійок на відстані 3 метри один від одного.

Записуємо створене завантаження в проект, активізуючи **Зберегти/Додати завантаження** інструментальної панелі. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження**, номер завантаження **2** і натискаємо **ОК**. Відповідаємо **Ні** на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** вікна повідомлення SCAD.


Рис. 3.25

Візуальний контроль навантажень виконуємо за допомогою кнопок панелі **Фільтри відображення** – **Вузлові навантаження** **Розподілені**




навантаження , Значення навантажень , заздалегідь вибравши із спадаючого списку **Вибір завантаження** необхідний вид завантаження.

#### *Задавання розрахункових сполучень зусиль*

У вкладці **Управління** натискаємо **Увійти в екран управління проектом** . Розкриваємо вміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натисненням на знак "+") розділу **Початкові дані** дерева проекту. Активізуємо **Розрахункові значення зусиль** і в колонці **Тип** таблиці **Завантаження** для корисного навантаження обираємо із спадаючого списку тип **Тимчасове тривале діюче**. Закінчуємо роботу з вікном натисненням кнопки **ОК**.

#### *Збереження проекту*

Переходимо до вкладки **Управління** і натискаємо **Зберегти поточний проект** .

#### Статичний розрахунок

Для виконання статичного розрахунку входимо в дерево проекту при допомозі розділу

**Управління** і кнопки **Увійти в екран управління проектом** .

Активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту. У діалоговому вікні **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**.

Після закінчення розрахунку переглядаємо інформацію вікна **Протокол виконання розрахунку** (рис. 3.26). Якщо розрахунки виконані правильно (**Завдання виконано**) і немає зауважень (**Геометрично змінювана система**), то натисканням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу результатів.

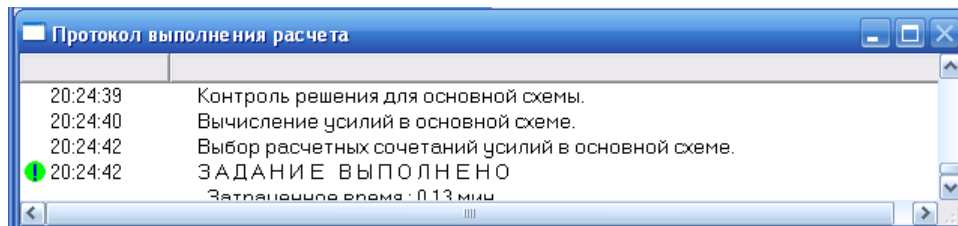



Рис. 3.26

#### Перегляд результатів статичного розрахунку

У розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в позицію **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора. Переглядаємо деформовану схему балки. Розкриємо

вкладку **Деформації** і натискаємо кнопку **Відображення деформованої схеми**  внаслідок чого на екрані отримуємо відповідне зображення (рис. 3.27).

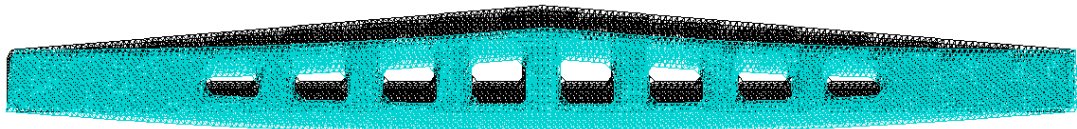



Рис. 3.27

Для отримання зображення полів напружень виду **NX** від корисного навантаження у вкладці **Поля напружень** зі списку **Вибір виду зусилля** вибираємо **NX** і натискаємо

**Відображення ізополів напружень з постійним кроком** , заздалегідь вибравши в спадаючому списку **Вибір завантаження** - **Корисне навантаження**. В результаті на екрані з'являється наступне зображення (рис. 3.28).

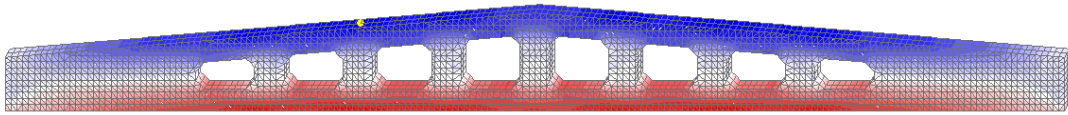


Рис. 3.28

Вибираючи **NZ** зі списку **Вибір виду зусилля**, отримуємо зображення ізополів напружень виду **NZ** (рис. 3.29).

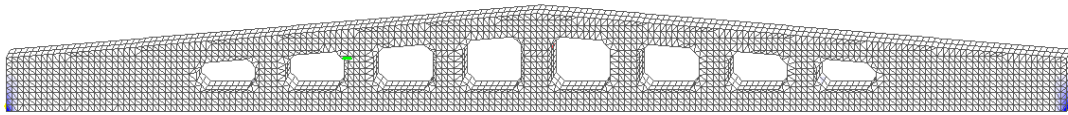



Рис. 3.29

### Підготовка результатів розрахунку для подальшого експорту

Для збереження розрахункової схеми балки у вкладці **Деформації** або у вкладці **Поля**

**напружень** (на вибір користувача) активізуємо **Відображення розрахунковою схемою** 

Зі списку **Вибір завантаження** вибираємо необхідне завантаження. На панелі **Фільтри відображення** активізуємо кнопки для відображення необхідної інформації, наприклад,

**Зв'язки** 




**Вузлові навантаження** 



**Розподілені навантаження** 



Далі переходимо до вкладки **Управління** і натискаємо **Збереження образу екрану**  де в пропонуваному вікні **Текст коментарів** вводимо **Розрахункова схема**, потім в діалоговому вікні **Збереження образу екрану** – ім'я файлу (будь-яке, що легко згадується користувачем, таке, що відрізняється від вже наявних імен файлів, що містяться в директорії).

Подібні операції здійснюємо для усіх необхідних графічних даних (полів напружень, початкової і деформованої схем).

Далі переходимо до вкладки **Управління** і натискаємо **Увійти в екран управління**

**проект** 



У розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Документування**, внаслідок чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів** (рис. 3.30).

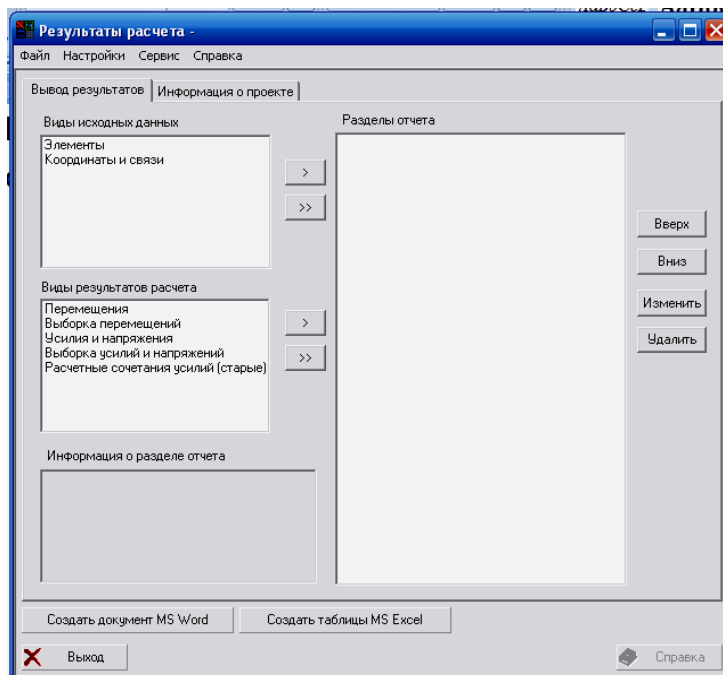


Рис. 3.30


Ставимо галочку напроти напису **Уся схема**, що активізує відображення усіх вузлів і елементів схеми.

Далі в лівій частині вікна активізацією відповідних кнопок керування вказуємо дані для звіту. Наприклад, при натисненні на кнопку **Вихідні дані** відмічаємо пункти: **Жорсткості, Величини навантажень**. Далі натискаємо **Ілюстрації** і додаємо в праве поле вікна збережену розрахункову схему, використовуючи, якщо необхідно, можливість перегляду схем, що додаються. Так, наприклад, в розділ **Вихідні дані** ми включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділ **Переміщення** - початкову і деформовану схеми рами, а в розділ **Зусилля і напруження** – поля напружень. Завершуємо роботу з вікнами натисненням кнопки **ОК**.

#### **Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word.**

Експортуємо дані звіту в MS Word. Для цього в діалоговому вікні **Виведення результатів** натискаємо **Створити документ MS Word**, при цьому вибираємо **MS Word 97** з пропонуванних версій редактора **MS Word 7.0** і **MS Word 97**. Наступна дія – вказування імені файлу результатів, яке призначаємо на власний розсуд.

#### **Вихід з обчислювального комплексу**

Для виходу з обчислювального комплексу натискаємо на кнопку **Вихід із SCAD** . На питання у вікні повідомлення SCAD **Завершити роботу?** відповідаємо **Так**.

#### **Контрольні питання**

1. Де використовуються гратчасті двосхилі залізобетонні балки?
2. Вимоги, які пред'являють до таких балок?
3. Види балок перекриття.
4. Як виготовляють балки перекриття?
5. Як армуються балки перекриття?
6. Якого прольоту можна застосовувати кроквяні балки?
7. Коли доцільно використовувати односхилі балки?
8. Як виконується генерація трикутної сітки СЕ на площині?
9. Як призначити жорсткість об'ємним елементам?
10. Навіщо існує в SCAD відображення ізополів напружень?

## 4. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану металевих конструкцій

### 4.1. Балки зварні двотаврові

#### Вихідні дані

Геометрична схема балки представлена на рис. 4.1.

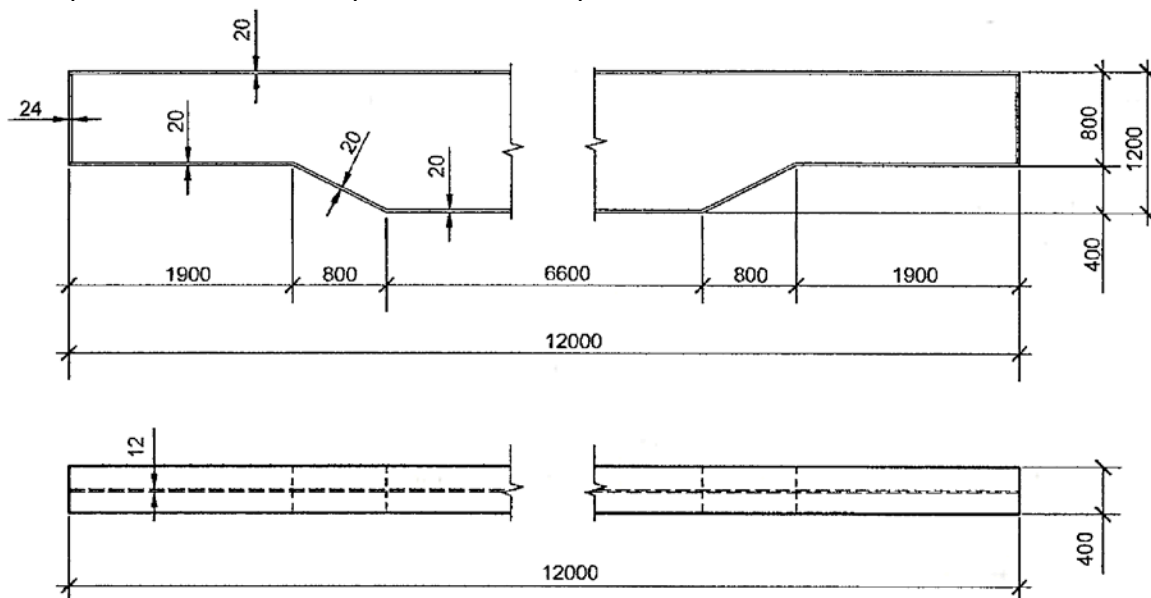


Рис. 4.1

- балка шарнірно закріплена на опорах, розташованих по кінцях нижнього поясу;
- з'єднання стінки з полицями - електродуговим зварюванням;
- балка завантажена зосередженими силами ( $F=11.8$  кН/м), прикладеними у вузлах верхнього поясу;
- елементи балки виконані з одного матеріалу (сталь звичайна);
- поперечний переріз балки – двотавровий, з зміною стінки по висоті;

#### Завдання:

Для запропонованої схеми навантаженої балки за допомогою системи **SCAD** необхідно вирішити такі задачі:

- сформувати її розрахункову пластинчасту скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) та здійснити експорт.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

#### Запуск обчислювального комплексу



Для запуску обчислювального комплексу натиснемо на піктограму **SCAD**.


#### Створення проекту

Створюємо новий проект, вибравши тип схеми **5 - Система загального виду**.

#### Формування розрахункової схеми конструкції

Помітно спростити формування розрахункової схеми балки можна, задаючи вузли бічної поверхні конструкції і застосовуючи інструмент копіювання схеми. У вкладці **Вузли та**

**Елементи** натискаємо **Вузли** . У діалоговому вікні **Введення вузлів**  послідовно вводимо вузли по координатах X, Y, Z: X ((0; 0; 0.4), (0; 1.9; 0.4), (0; 2.7; 0), (0; 9.3; 0), (0; 10.1; 0.4), (0; 12; 0.4), (0; 12; 1.2), (0; 0; 1.2)). Після задавання чергових трьох координат необхідно

кожен раз натискати кнопку **Додати** діалогового вікна **Введення вузлів** . Після введення всіх вузлів закриваємо вищевказане діалогове вікно.

Далі скопіюємо введені вузли. Виділяємо всі вузли.

Заходимо до вкладки **Схема** і натискаємо кнопку **Копіювання схеми**. На екрані з'являється однойменне діалогове вікно. У колонку **Крок** таблиці вводимо **0.2**, а в колонку **Кількість** - **2**. Решту установок залишаємо за замовчуванням. Діалогове вікно буде мати вигляд, показаний на рис. 4.2. Завершуємо роботу з вікном натисненням кнопки **ОК**. У відповідь на запитання в діалоговому вікні SCAD **Зберегти результати копіювання?** натискаємо **ОК**. Знімаємо виділення вузлів.

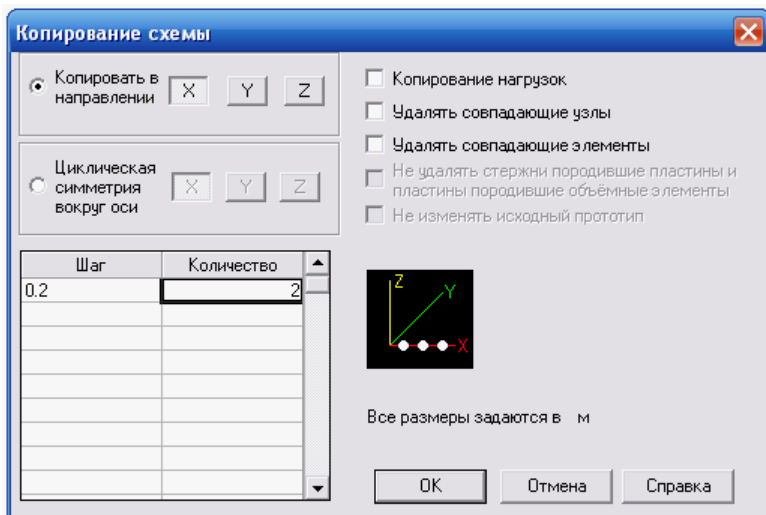


Рис. 4.2

Наступний крок – задавання пластин. Для цього у вкладці **Вузли та Елементи** активізуємо **Елементи**



і натискаємо **Додавання**




**пластини**

Відзначаємо курсором на схемі вузли 6, 7, 23, 22 і натискаємо кнопку **Підтвердження**



інструментальної панелі. На екрані з'являється пластина, задана

через чотири вузли. Решту пластин задаємо аналогічно через вузли: [5, 6, 22, 21]; [4, 5, 21, 20]; [3, 4, 20, 19]; [2, 3, 19, 18]; [1, 2, 18, 17]; [1, 8, 24, 17]; [8, 7, 23, 24] (рис. 4.3). Після

виділення кожних чергових чотири вузлів натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі.

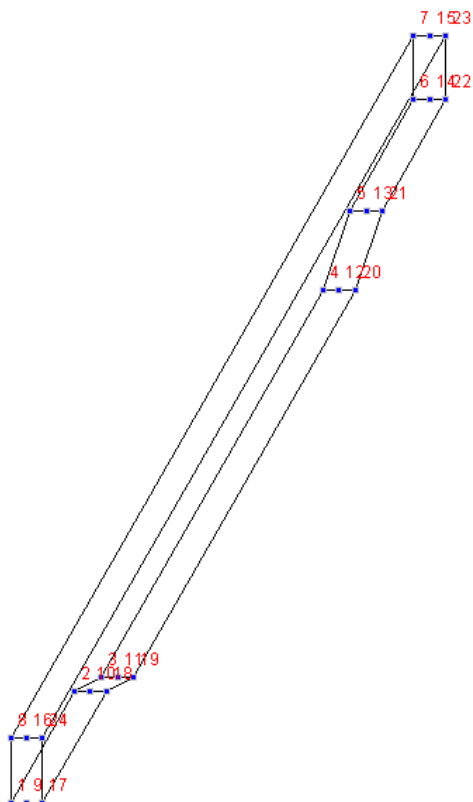


Рис. 4.3

*Призначення жорсткостей елементам*

У вкладці **Призначення** головної панелі інструментів натискаємо **Призначення**

**жорсткостей пластинам** 

У розділі **Матеріал** діалогового вікна, **Жорсткості пластин** вибираємо з спадаючого списку **Сталь звичайна** і в розділі **Параметри** задаємо параметр **Товщина пластин (0.024)**. Решту установок залишаємо за замовчуванням. Діалогове вікно приймає вигляд, представлений на рис. 4.4. Натискаємо кнопку **ОК**. Виділяємо курсором на схемі елементи 17 і 23 і активізуємо

**Підтвердження**  в інструментальній панелі.

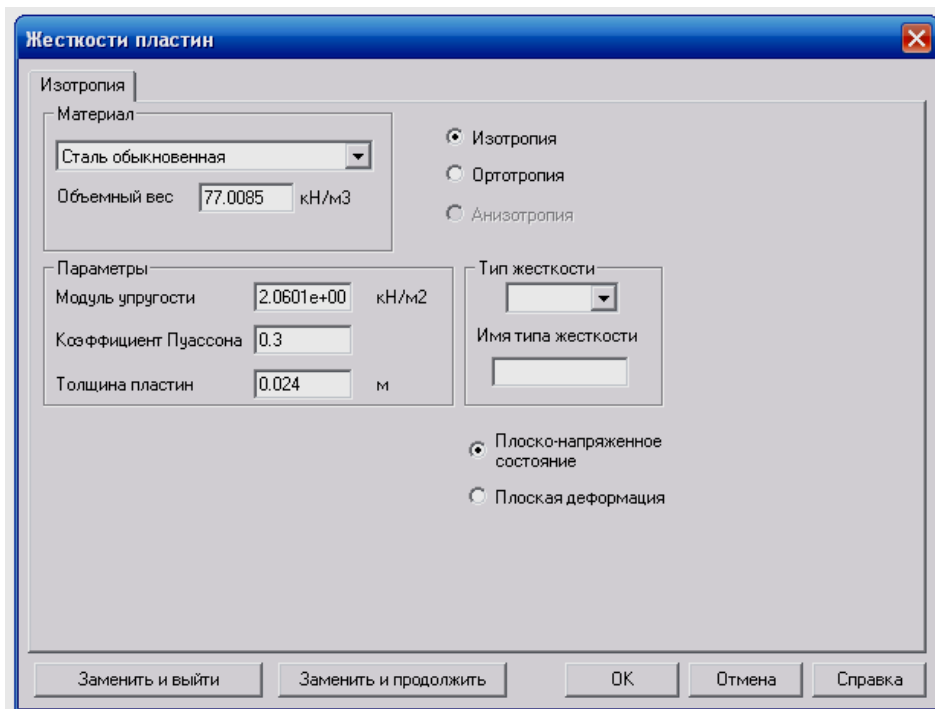




Рис. 4.4

Аналогічно призначаємо другий тип жорсткості пластинам 18, 19, 20, 21, 22, 24. Знову натискаємо кнопку **Призначення жорсткостей пластинам** . В діалоговому вікні **Жорсткості пластин** в розділі **Матеріал** зі списку вибираємо **Сталь звичайна** і в розділі **Параметри** задаємо параметр **Товщина пластин (0.02)**. Решту установок залишаємо за замовчуванням. Натискаємо кнопку **ОК**. Виділяємо курсором на схемі елементи 18, 19, 20, 21, 22, 24 і натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі.

### Дроблення пластин

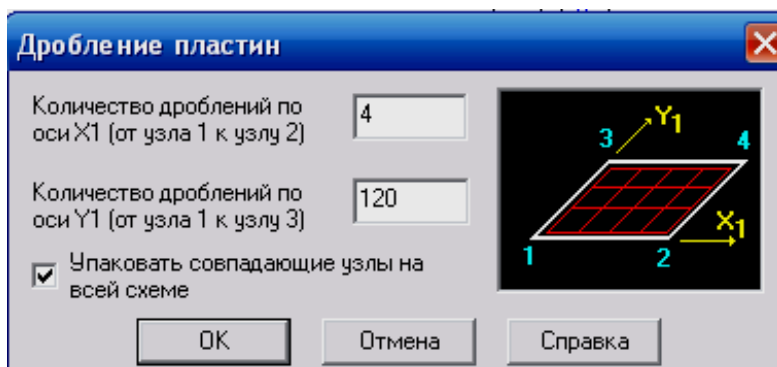










Рис. 4.5



У вкладці **Вузли та Елементи** інструментальної панелі активізуємо кнопку **Елементи**  і натискаємо кнопку **Дроблення 4-х вузлових пластин** . На екрані з'являється діалогове вікно **Дроблення пластин** (рис. 4.5). Задаємо **Кількість дроблень по осі X1 (4)** і **... по осі Y1 (120)**. Натискаємо **ОК** діалогового вікна. Виділяємо курсором на схемі елемент 24 і активізуємо **Підтвердження**  інструментальної панелі. Аналогічно дробимо інші пластини, задаючи в кожному випадку необхідну кількість дроблень кнопкою **Дроблення 4-х вузлових пластин**  в діалоговому вікні **Кількість дроблень по осі X1 (4)** і **... по осі Y1 (8)**. Натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна. Виділяємо курсором на схемі елементи 17 і 23, а потім активізуємо **Підтвердження** інструментальної панелі. Пластини 18 і 22 дробимо, задавши **Кількість дроблень по осі X1 (4)** і **... по осі Y1 (19)**. Пластини 19 і 21 дробимо, задавши **Кількість дроблень по осі X1 (4)** і **... по осі Y1 (8)**. Пластину 20 дробимо, задавши


Кількість дроблень по осі X1 (4) і ... по осі Y1 (66). Необхідно кожний раз, виділяючи пластину, натискати **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Для задавання стінки балки застосовуємо інструмент **Генерація сітки довільної форми на площині** , розташованої у вкладці **Схема**. У наборі кнопок, що відкрився, натискаємо

**Задавання контуру** . Далі задаємо контур триангуляції. Наводимо курсор на вузол 9, натискаємо ліву кнопку миші і тягнемо «гумову нитку» до вузла 10, потім знову, натискаючи ліву кнопку миші, тягнемо до вузла 11 ... і так далі 12, 13, 14, 15, 16. На завершення

замикаємо контур на вузлі 9. Натискаємо **Генерація трикутної сітки SE на площині** . В діалоговому вікні **Автоматична триангуляція** активізуємо **Жорсткості**. У розділі **Матеріал** вікна **Жорсткості пластин** зі спадаючого списку матеріалів вибираємо **Сталь звичайна**, а в пункті **Товщина пластин** розділу **Параметри** задаємо значення **0.012**. Натискаємо **OK** для завершення роботи з вікном **Жорсткості пластин**. В розділі **Призначення кроку триангуляції** задаємо значення кроку **0.1**. Ставимо галочку навпроти пункту **Об'єднати 3-х вузлові елементи в 4-х вузлові**. Далі натискаємо **OK** і активізуємо кнопку **Установка результатів**

**триангуляції на місце в схемі** . Натискаємо **OK** у вікні повідомлення **SCAD Установка виконана**. Для виходу з режиму генерації натискаємо **Генерація трикутної сітки елементів на площині** .

Для збереження результатів переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо **Зберегти поточний проект** . Схема балки буде мати вигляд, представлений на рис. 4.6

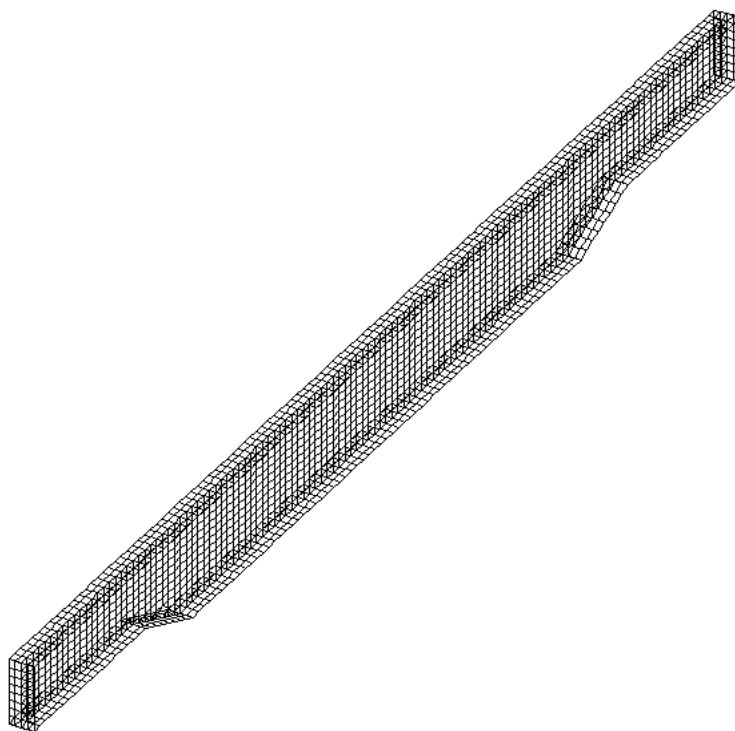




Рис. 4.6

Далі натискаємо на фільтрах відображення **Стержні** , всі інші піктограми відключаємо. Відмічаємо наявні стержні і видаляємо їх зі схеми.

Натискаємо піктограму **Пластини**  і повертаємось до вихідної схеми балки (рис.4.6).

## Накладання в'язей в опорних вузлах балки

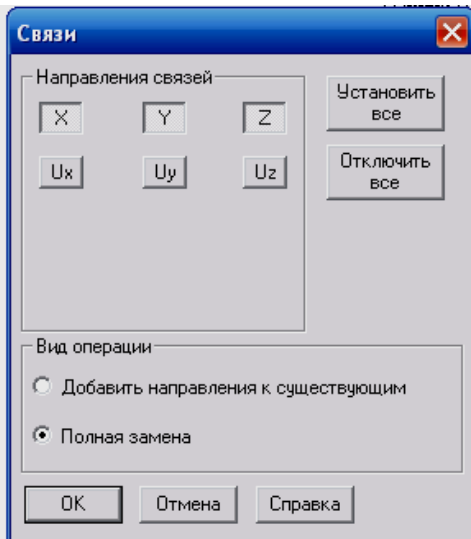




Рис. 4.7

У розділі **Призначення** інструментальної панелі


кнопкою **Установка в'язей у вузлах**  викликаємо діалогове вікно **Зв'язки**. У режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X**, **Y**, **Z** (рис. 4.7) і натискаємо **ОК**. Позначаємо курсором на схемі вузли 1, 661, 9, 662, 17 і

натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі, чим забезпечуємо шарнірно-нерухоме закріплення перерахованих вузлів в трьох площинах. Аналогічно встановлюємо зв'язки у вузлах 6, 624, 14, 625, 22, активізуючи кнопки **X**, **Z** діалогового вікна **Зв'язки**.

Візуальний контроль правильності постановки опорних

зв'язків виконуємо натисненням кнопки **Зв'язки**  на панелі **Фільтри відображення**.

## Задавання завантаження балки

1. Задавання вузлової зосередженої сили  $P = 1.18$  кН/м, прикладеної у вузлах верхнього пояса по лінії стику верхнього пояса і стінки балки: у вкладці **Завантаження** кнопкою **Вузлові навантаження**  викликаємо однойменне діалогове вікно (рис. 4.8).

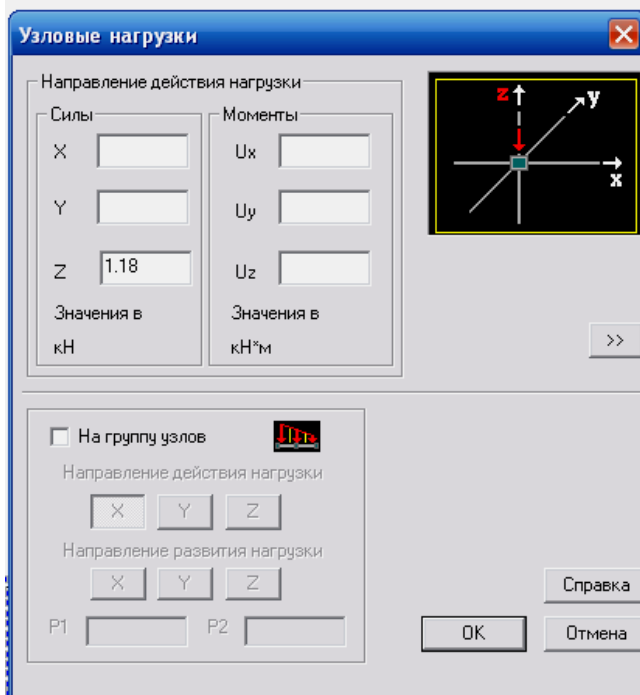




Рис. 4.8

Вводимо в поле **Z** значення **1.18** і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо вузли верхнього поясу. На панелі **Візуалізація** натискаємо **Проекція на площину YoZ** і потім **Обертання навколо осі Y** (крок +). Застосовуємо інструмент

**Збільшення зображення**  панелі **Візуалізація**. Для цього після натискання на кнопку виділяємо прямокутником частину зображення балки. Далі натискаємо праву кнопку миші, розташовуючи курсор в графічній області вікна програми. З'являється діалогове вікно **Вибір вузлів та елементів**, де в розділі **Вид курсору** натискаємо **Прямокутник** і виділяємо в рамочку вузли по лінії стику верхнього пояса і стінки балки. Завершуємо задавання натисненням кнопки

**Підтвердження**  інструментальної панелі. Перевірку наявності навантажень на схемі

виконуємо кнопками панелі **Фільтри відображення**: **Вузлові навантаження** ,

**Значення навантаження** . На екрані з'являється завантажена схема балки (рис. 4.9).



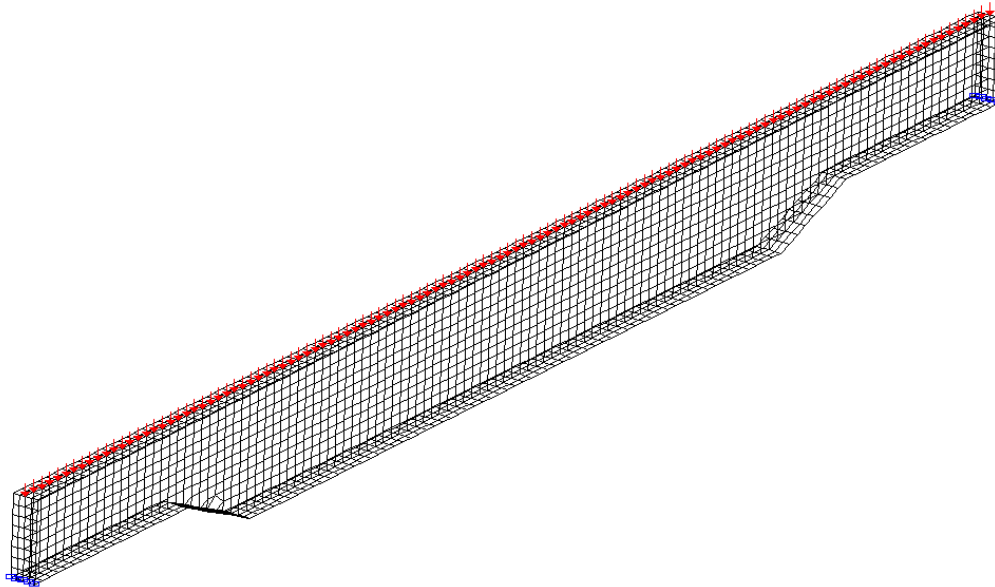


Рис. 4.9

Записуємо створене завантаження в проект, натискаючи **Зберегти/Додати завантаження**



інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження 1,18**, номер завантаження **1**, натискаємо кнопку **ОК** і на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Так**.

2. Задавання вузлової зосередженої сили  $F=11.8$  кН/м, прикладеної у вузлах верхнього пояса по лінії стику верхнього пояса і стінки балки: навантаження задається за аналогією з першим типом завантаження, а відмінності будуть лише у величині навантаження. Після завершення задавання записуємо створене завантаження в проект, активізацією



**Зберегти/Додати завантаження** інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження 11,8**, номер завантаження **2**, натискаємо **ОК** і на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Так**.

3. Задавання завантаження від власної ваги. Дану операцію здійснюємо натисканням



кнопки **Власна вага**. Записуємо створене завантаження в проект, натискаючи




**Зберегти/Додати завантаження** інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Власна вага**, номер завантаження **3**, натискаємо **ОК** і на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Ні**.

#### *Перенумеровування вузлів і елементів*

У вкладці **Керування** натискаємо кнопку **Упаковка даних**  і на питання **Видаляти вузли, які не належать елементам** натискаємо **Так**.

#### *Задавання розрахункових сполучень зусиль*

У вкладці **Керування** натискаємо **Ввійти в екран управління проектом** . Розкриваємо вміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натисканням на знак «+») розділу **Вихідні дані** дерева проекту. Активізуємо пункт **Розрахункові поєднання зусиль** і в колонці **Тип** таблиці **Завантаження** для корисних навантажень вибираємо зі спадаючого списку **Тимчасове довготривале діюче**. Закінчуємо роботу з вікном натисканням **ОК**.

### Статичний розрахунок

Для виконання статичного розрахунку активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту. У діалоговому вікні **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**.

На питання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Так**.

Переглядаємо вікно **Протокол виконання розрахунку** (рис. 4.10). Якщо в протоколі підтверджується правильність виконання розрахунку (**Завдання виконано**) і немає зауважень (**Геометрично змінювана система**), то натисканням **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів.

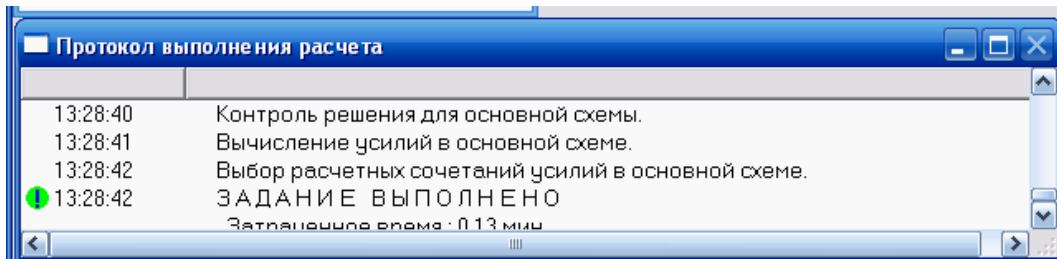



Рис. 4.10

### Перегляд результатів розрахунку

У розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в позицію **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора. Переглядаємо деформовану схему балки на фоні недеформованої. Для цього у вкладці **Деформації** натискаємо кнопку **Спільне відображення**

**вихідної та деформованої схеми** , в результаті отримуємо зображення (рис. 4.11).

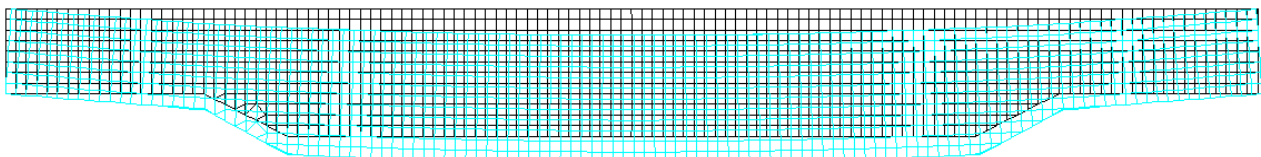




Рис. 4.11

У вкладці **Поля напружень** зі списку **Вибір виду напружень** вибираємо **NX**, зі списку

**Вибір завантаження – Власна вага**, натискаємо **Відображення ізополів напружень**  інструментальної панелі і отримуємо картину напружень (рис. 4.12). На екрані відображається діалогове вікно **NX (Т/м<sup>2</sup>)**, що представляє собою фільтр зі значеннями напружень за кольорами. Управляти відображенням полів напружень на схемі можна двома способами: вибираючи у верхній частині вікна кольорні палітри і включаючи-виключаючи галочками відображення діапазонів значень, що відповідають певним кольорам. При цьому користувачеві не потрібно піклуватися про додавання фільтрів в результати розрахунку, так як

при використанні інструменту **Зберігання образу екрана** , фільтр зі значеннями напружень за кольорами буде додано до картини полів напружень автоматично у вигляді таблиці, розташованої під зображенням.

Аналогічно можна вивести на екран інші зображення полів напружень, вибираючи їх зі спадаючого списку **Вибір виду напруження**.

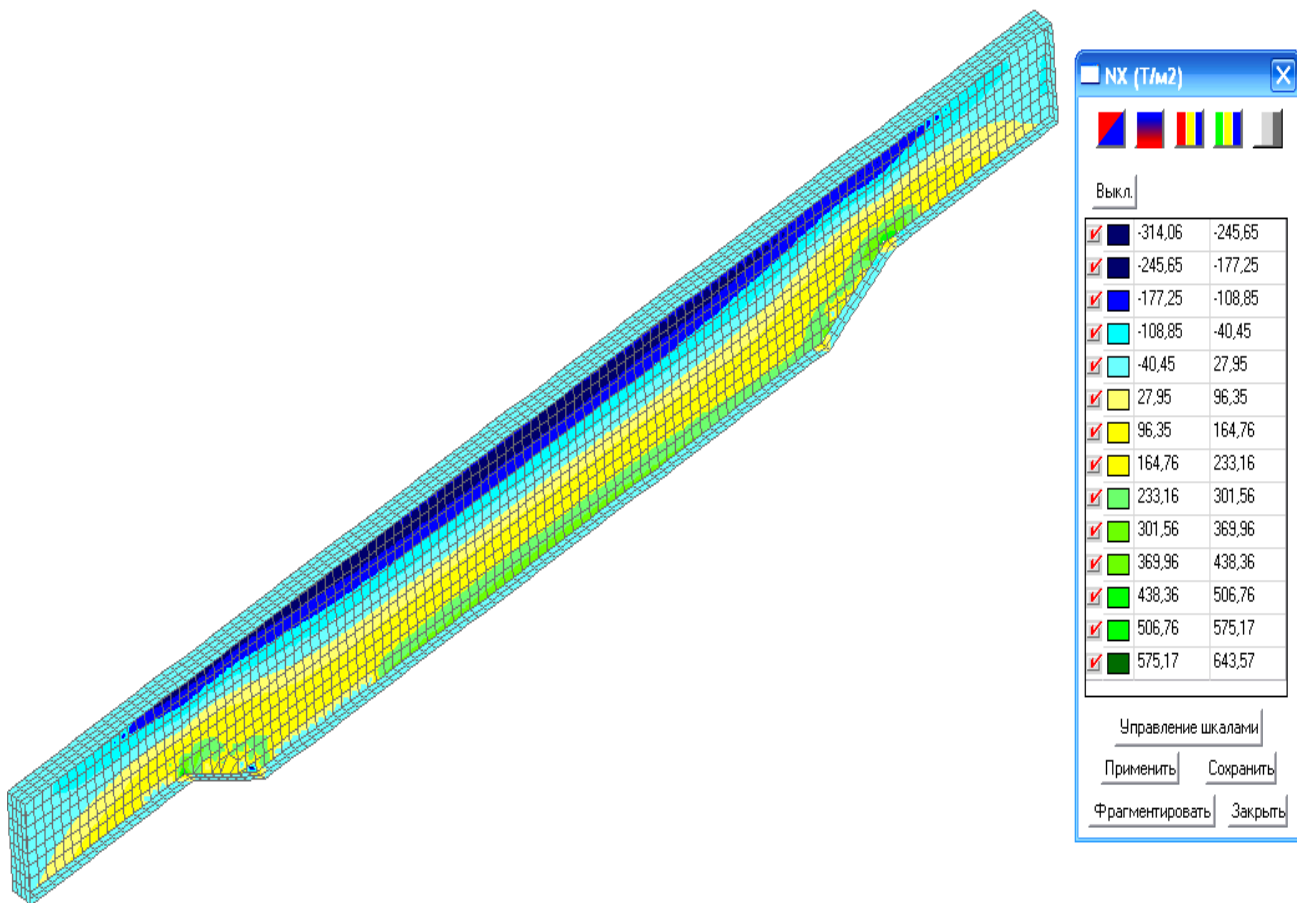




Рис. 4.12


### **Підготовка результатів розрахунку для подальшого експорту**

Для збереження розрахункової схеми балки у вкладці **Деформації** або у вкладці **Епюри**

**зусиль** (на вибір користувача) активізуємо **Відображення розрахункової схеми** , при цьому розрахункова схема не буде відображатися повністю до тих пір поки не будуть


активізовані кнопки панелі **Фільтри відображення: Зв'язки** , **Вузлові навантаження**

 тощо. Після найбільш повного відображення на екрані розрахункової схеми переходимо

до вкладки **Керування** і натискаємо **Збереження образу екрану** , де в запропонованому вікні **Текст коментарів** вводимо **Розрахункова схема**, а потім у діалоговому вікні **Збереження образу екрану** – ім'я файлу.

Подібні операції здійснюємо для усіх необхідних графічних даних (епюр внутрішніх зусиль, вихідної і деформованою схем рами).

Далі переходимо до вкладки **Управління** та натискаємо на кнопку **Увійти в екран**

**управління проектом** . У розділі **Результати** дерева проекту активізуємо пункт **Документування**, в результаті чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів**.

Кожній кнопці керування відповідає діалогове вікно для налаштування таблиць певного виду. Всі вікна, крім вікна налаштування таблиць вихідних даних, мають однаковий набір керуючих елементів і єдині правила роботи. Розглянемо роботу з вікнами на прикладі вікна налаштування таблиць з вихідними даними.

Ставимо галочку проти напису **Вся схема**, активізуємо відображення всіх вузлів і елементів схеми.


Далі в лівій частині вікна активізацією відповідних кнопок вказуємо інформацію, що відображається в кожному пункті. Наприклад, при натисканні на кнопку **Вихідні дані** необхідно відзначити пункти **Жорсткості**, **Величини навантажень**. Далі слід натиснути на кнопку **Ілюстрації** та додати в праве поле вікна необхідну для включення в звіт схему. Так, наприклад, в розділ **Вихідні дані** включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділ **Переміщення** – вихідну і деформовану схеми балки, а в розділ **Зусилля і напруження** – епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення** та **Зусилля і напруження** відзначаємо пункт **Вся схема**. Завершуємо роботу з вікнами натисненням кнопки **ОК**.

#### **Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word**

Експортуємо дані звіту в MS Word, для цього виконуємо натискання **Створити документ MS Word** діалогового вікна **Виведення результатів Балка**, при цьому зі запропонованих версій редактора (**MS Word 7.0** і **MS Word 97**) вибираємо **MS Word 97**.

Наступний крок – призначення імені файлу результатів.

#### **Вихід з обчислювального комплексу**

Для виходу з обчислювального комплексу натискаємо **Вихід зі SCAD** . У відповідь на запитання **Завершити роботу?** вікна повідомлення SCAD натискаємо **Так**.

#### **Контрольні питання**

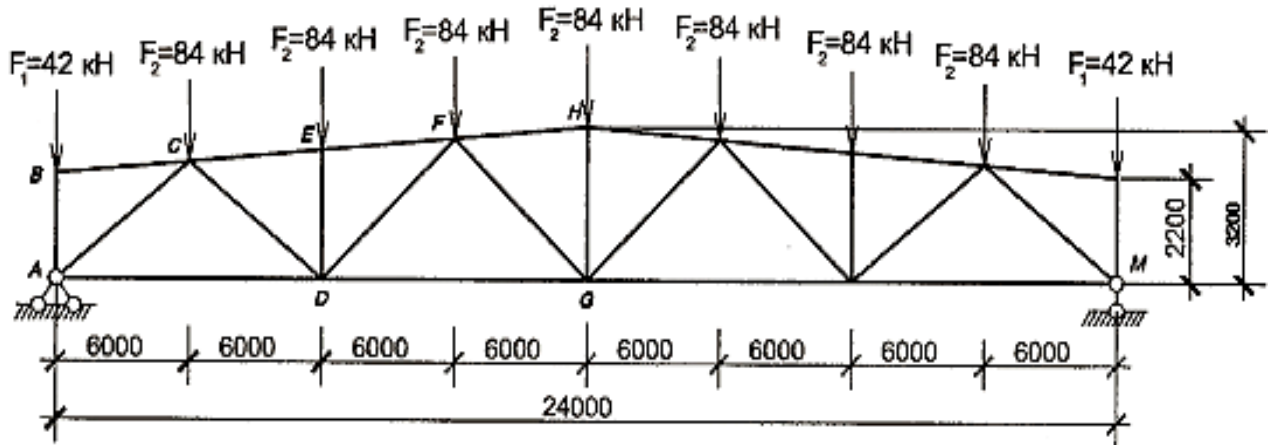
1. Класифікація металевих балок.
2. Коли доцільно застосовувати металеві балки?
3. Де застосовують двотаврові металеві балки?
4. Маркування металевих балок.
5. Як відбувається з'єднання металевих конструкцій?
6. Класифікація та характеристика зварних швів.
7. Види зварних з'єднань.
8. Як задаються пластини?
9. Як відбувається дроблення пластин?
10. Як призначають жорсткості металевим пластинам?

## 4.2. Ферма двоскатна

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, геометрична схема, основні розміри стропильної ферми представлені на рис. 4.13.

- ферма шарнірно спирається на опори А і М;
- всі вузли ферми шарнірні;
- ферма навантажена в своїй площині зосередженими силами, які прикладені в вузлах верхнього поясу;
- елементи ферми виконані з одного матеріалу;
- поперечний переріз всіх елементів ферми складено з двох спарених рівнобічних кутників.



### Перерізи:

| верхній пояс | нижній пояс | розкоси   | стіжки |
|--------------|-------------|-----------|--------|
| 140x10       | 100x8       | AG 140x10 | 63x5   |
|              |             | CD 63x5   |        |
|              |             | DF 80x6   |        |
|              |             | FG 80x6   |        |

товщина фасонки t=12 мм

Рис. 4.13. Схема стропильної ферми

### Завдання

Для запропонованої схеми навантаженої ферми за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задачі:

- сформувати її розрахункову плоску стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- показати на екрані монітора комп'ютера компоненти НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунків (в тому числі графічні) для експорту в редактори із пакета MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і здійснити експорт.

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

### Запуск обчислювального комплексу

Для запуску обчислювального комплексу натискаємо на піктограмі **SCAD**.

### Створення проекту

Створюємо новий проект, обираємо тип схеми **1 – Плоска шарнірно-стержнева система**.

## Побудова плоскої шарнірно-стержневої моделі конструкції

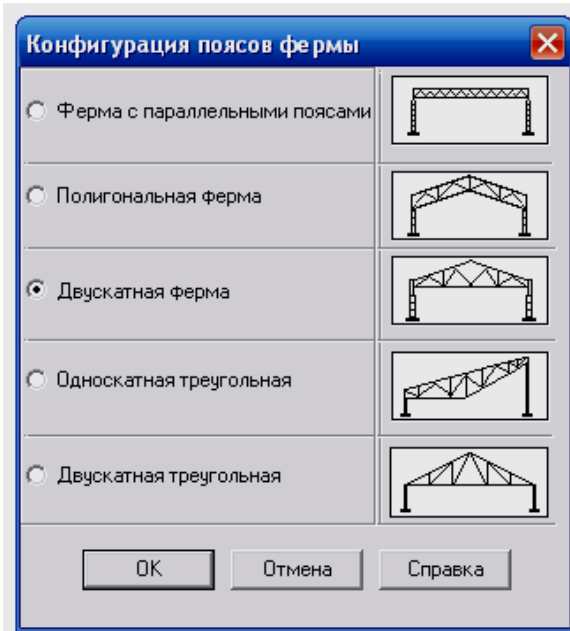



Рис. 4.14

*Формування прототипу ферми*  
Для створення схеми конструкції переходимо на вкладку **Схема** і натискаємо на кнопку **Генерація прототипу ферми** . На екрані з'явиться діалогове вікно **Конфігурація поясів ферми** (рис. 4.14).

Активізуємо пункт **Двускатна ферма** і натискаємо **ОК**. В діалоговому вікні **Параметри ферми** вводимо **Проліт ферми (L)** – (24), **Висота ферми (H)** – (2.2), **Довжина панелі (Lp)** – (6), **Кут нахилу (a)** – (4.8) (рис. 4.15). Обираємо потрібний тип решітки ферми в правій частині діалогового вікна і натискаємо **ОК**.

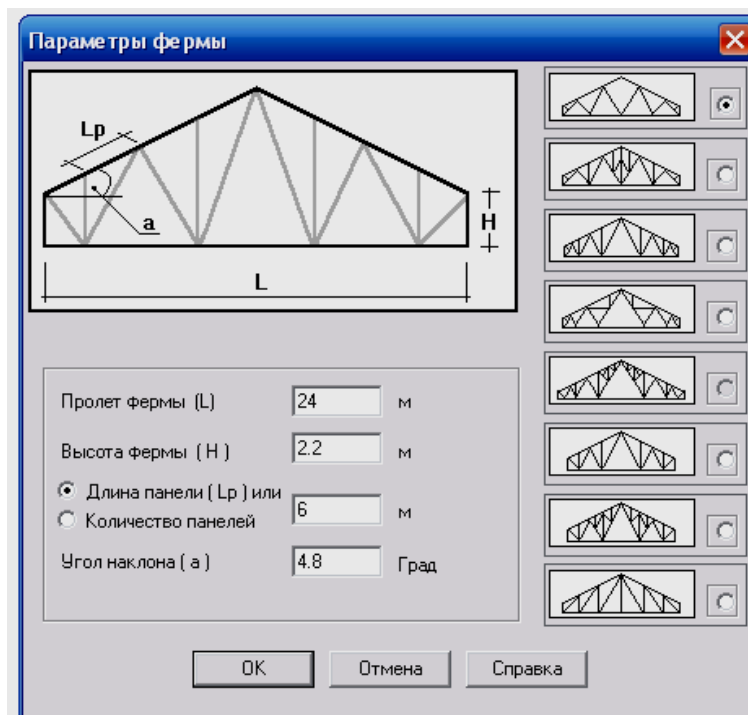


Рис. 4.15

В графічному полі вікна програми отримуємо початкову схему ферми (рис. 4.16):

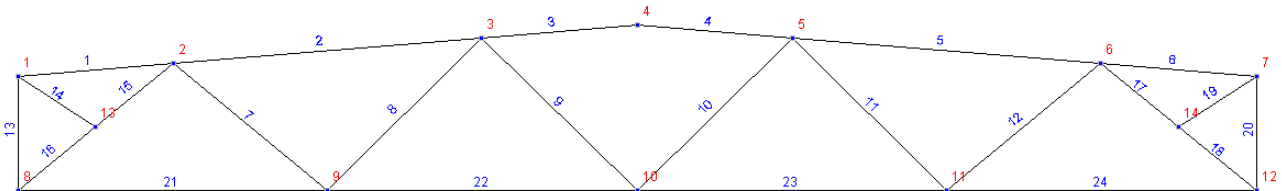








Рис. 4.16

### Коригування схеми

Заходимо в закладку **Вузли і елементи** панелі інструментів.

Видаляємо зайві вузли. Для цього активізуємо кнопку **Вузли**  і натискаємо **Видалення вузлів** . Відмічаємо курсором на розрахунковій схемі вузли 13,14 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі. При видаленні вузлів будуть видалені всі елементи які до них примикають.

Додаємо необхідні вузли. В закладці **Вузли та елементи** головної панелі інструментів активізуємо кнопку **Елементи**  і в розкритому наборі кнопок натискаємо **Розбивка стержня** . В діалоговому вікні вибираємо пункт **На N рівних ділянках** і вводимо число ділянок (**2**). Потім відмічаємо на схемі елементи 2 і 5 та натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі (рис. 4.17).

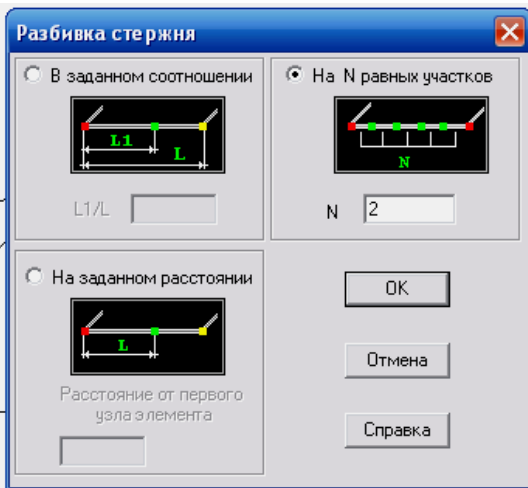





Рис. 4.17

Далі доповнюємо ферму необхідними елементами. Активізуємо кнопку **Елементи**  і натискаємо кнопку **Додавання стержнів** . Встановлюємо курсор на вузол 8. Натискаємо ліву кнопку миші, курсором «тягнемо нитку» від вузла 8 до вузла 2 і знову натискаємо кнопку миші. Такі дії повторюємо для вузлів 9,15;10,4; 11,16; 6,12.

### Перенумеровування вузлів та елементів

Для виконання перенумеровування на закладці **Управління** натискаємо кнопку **Упаковка даних** . Відповідаємо **Так** на питання **Видаляти вузли які не належать елементам?** і в діалоговому вікні **SCAD** і отримуємо необхідну схему ферми (рис. 4.18).

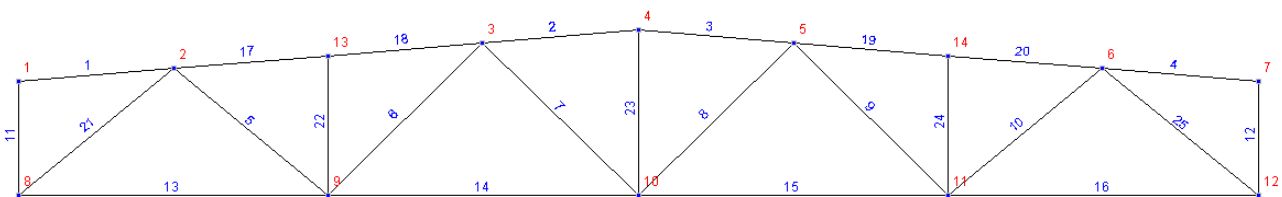




Рис. 4.18

### Задавання жорсткостей елементів

Розкриваємо вкладку **Призначення** головної панелі інструментів та натискаємо

**Призначення жорсткості стержням** . В діалоговому вікні відмічаємо перемикач **Профілі металопрокату**. В розділі **Складений переріз** вкладки **Профілі металопрокату** вибираємо переріз – із двох спарених кутиків, активізуючи крайню ліву кнопку. Потім задаємо відстань між кутиками **g= (1.2)**. В каталозі **Кутік рівнобічний** розділу **Повний каталог профілів ГОСТ ..>** вибираємо профіль **L100x8** (розкриваючи зміст каталогу натиснувши на символ «+»).

В списку розділу **Матеріал** призначаємо **Сталь якісна**. Вікно при цьому набуде вигляду, показаного на рис. 4.19. Натискаємо **ОК**. Відмічаємо курсором на схемі ферми стержні 13,14,15,16 (нижній пояс) і активізуємо **Підтвердження**  інструментальної панелі.

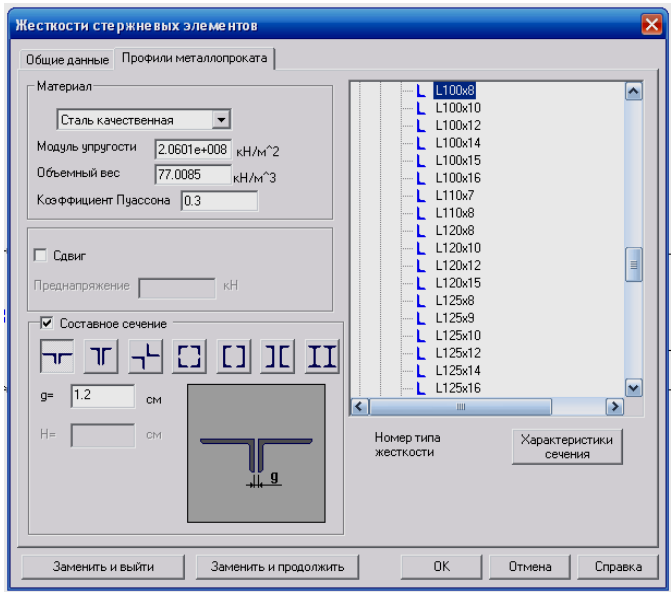





Рис. 4.19

Аналогічно обираємо в каталозі профіль **L140x10** і призначаємо другий тип жорсткості стержням 1, 17, 18, 2, 3, 19, 20, 4, 21, 25. Закінчуємо задавання кнопкою **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Далі призначаємо третій і четвертий типи жорсткості, обираючи в каталозі відповідно **L63x5** (стержням: 5,10,11,22,23,24,12) і **L 80x6** (стержням: 6,7,8,9). Закінчуємо задавання кнопкою **Підтвердження**  інструментальної панелі.

*Призначення типів скінченних елементів*

При задаванні типів скінченних елементів для генерації скінченно-елементної моделі споруди розкриваємо вкладку **Призначення** і натискаємо кнопку **Призначення типів скінченних елементів** . Активізуємо пункт **Стержень** в діалоговому вікні **Призначення типу елемента** (рис. 4.20) і обираємо тип **1 Стержень плоскої ферми**. Натискаємо **ОК**.

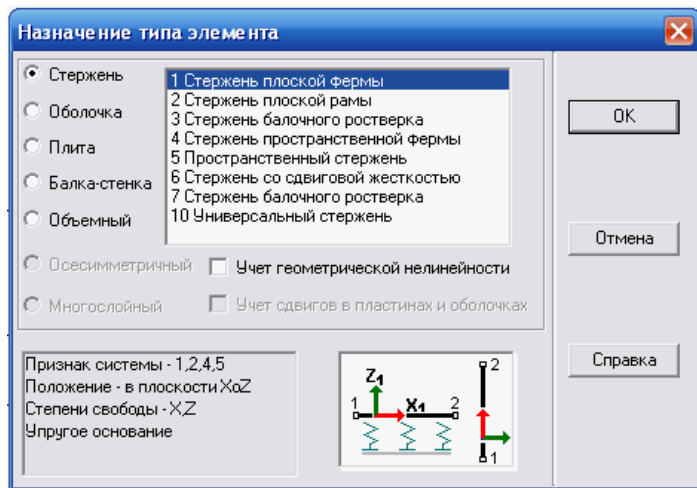


Рис. 4.20


панелі.


Далі натискаємо праву кнопку миші, розташовуємо її покажчик в графічному полі вікна програми, і в діалоговому вікні **Вибір вузлів і елементів** активізуємо **Інвертувати вибір елементів**. Закінчуємо роботу натиснув кнопку **ОК**. Всі елементи ферми будуть виділені червоним кольором. Присвоюємо тип скінченних елементів натискаючи кнопку **Підтвердження**  інструментальної




### Накладання зв'язків в опорних вузлах ферми

Викликаємо діалогове вікно **Зв'язки** на вкладці **Призначення** за допомогою кнопки

**Встановлення зв'язків в вузлах** . В режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X, Z** (рис. 4.21) і натискаємо кнопку **ОК**.


Відмічаємо курсором на схемі вузол 8 і натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Аналогічно встановлюємо зв'язок в вузлі 12, активізував кнопку **Z** діалогового вікна **Зв'язки**.

Візуальний контроль правильності постановки опорних зв'язків виконуємо натискаючи кнопку **Зв'язки**  панелі **Фільтри відображення**.

### Задавання завантажування ферми

1. При завантаженні зовнішнім вузловим навантаженням кнопкою **Вузлові навантаження**

 викликаємо діалогове вікно на вкладці **Завантаження** (рис. 4.22). Вводимо в поле **Z** значення 42 і натискаємо **ОК**. На схемі відмічаємо вузли 1 і 7 і активізуємо **Підтвердження**

 інструментальної панелі.

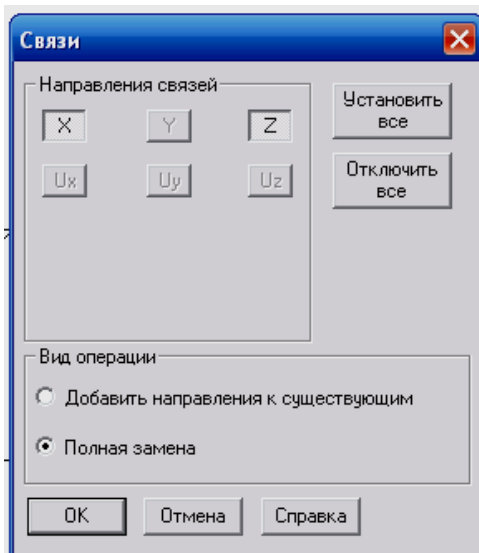


Рис. 4.21

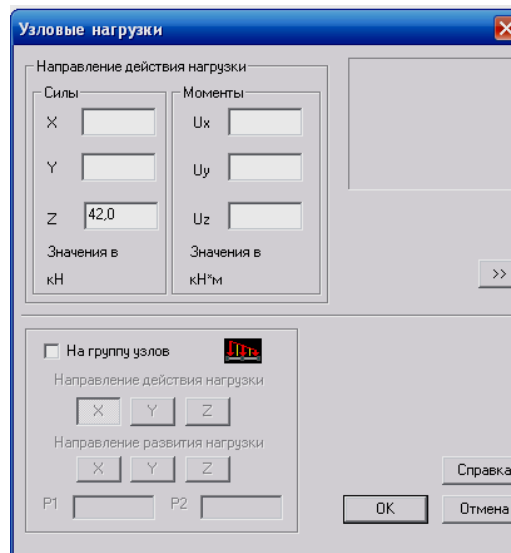







Рис. 4.22


Аналогічно вводимо в поле **Z** значення 84. На схемі відмічаємо вузли 2,13,3,4,5,14,6 і

натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Необхідно відмітити, що вузлове навантаження завжди задається відносно загальної координатної системи. В вікні де вводимо числові значення навантажень, показані позитивні напрямки координатних осей.


Візуальний контроль навантажень виконуємо кнопками панелі **Фільтри відображення**:

**Вузлові навантаження** , **Розподілені навантаження** , **Зосереджені навантаження** , **Значення навантажень** .


Натискаємо кнопку **Зберегти/Додати навантаження** . В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження**, номер навантаження **1**, натискаємо кнопку **ОК**. Відповідаємо **Так** на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** в діалоговому вікні **SCAD**.

2. Завантаження власною вагою здійснюється активізацією кнопки **Власна вага** .

Записуємо створене навантаження в проект. Для цього натискаємо кнопку **Зберегти/**

**Додати навантаження**  і в вікні, що з'явилося вводимо ім'я навантаження **Власна вага**, номер навантаження **2**, натискаємо **ОК**. Відповідаємо **Ні** на питання **Перейти до формування наступного завантаження?**

*Задавання розрахункових сполучень зусиль*

На вкладці **Управління** натискаємо кнопку **Увійти в екран управління проектом** . В розділі **Вихідні дані** дерева проекту розкриваємо зміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натисканням на знак «+»). Активізуємо пункт розрахункові співвідношення зусиль в колонці **Тип** таблиці **Навантаження** для корисного навантаження вибираємо із списку тип **Тимчасове довготривале діюче**. Закінчуємо роботу з вікном натисканням кнопки **ОК**.

### Статичний розрахунок

Для виконання статичного розрахунку входимо в дерево проекту за допомогою розділу **Управління** і кнопки **Увійти в екран управління проектом**. Активізуємо пункт **Лінійний розділу Розрахунок** дерева проекту. В діалоговому вікні натискаємо **ОК**.

Відповідаємо **Так** на питання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?**

Після закінчення розрахунку необхідно ознайомитись з інформацією вікна **Протокол виконання розрахунку** (рис. 4.23). При умові правильного виконання розрахунку (**Завдання виконано**) і відсутності недоліків (**Геометрично змінювана система**) натисканням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів.

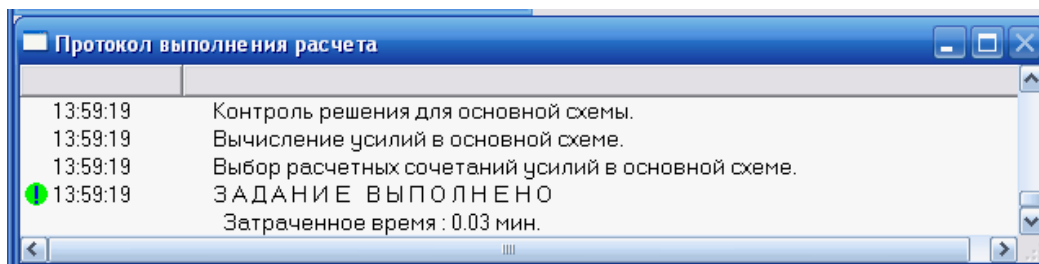



Рис. 4.23

### *Перегляд результатів статичного розрахунку рами*

В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в позицію **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора. Переглянемо деформовану схему рами на фоні недеформованої. Для цього в розділі **Деформація** натискаємо кнопку **Сумісне відображення**

**вихідної і деформованої схеми** . Схема деформацій буде мати вигляд, представлений на рис. 4.24.

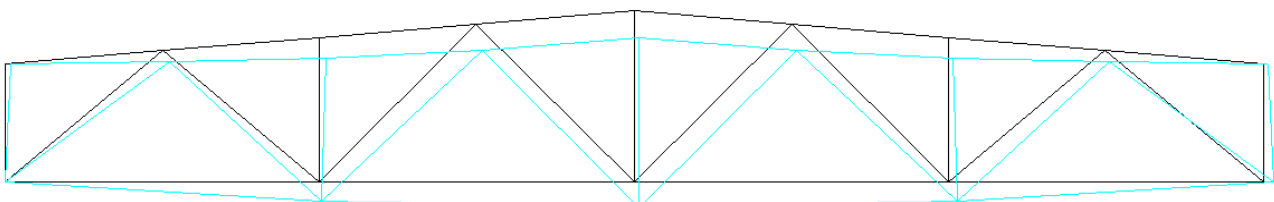





Рис. 4.24

У вкладці **Епюри зусиль** із списку **Вибір виду зусилля** вибираємо **N**, активізуємо епюри зусиль  інструментальної панелі і отримуємо епюру поперечних сил **N** (рис. 4.25). Для визначення максимальних значень зусиль в стержнях натискаємо кнопку **Кольорова**

індикація позитивних значень зусиль  чи кнопку **Кольорова індикація негативних значень зусиль** . Аналогічно можна вивести на екран епюри інших внутрішніх зусиль (M,Q), вказуючи їх в списку **Вибір виду зусиль**.

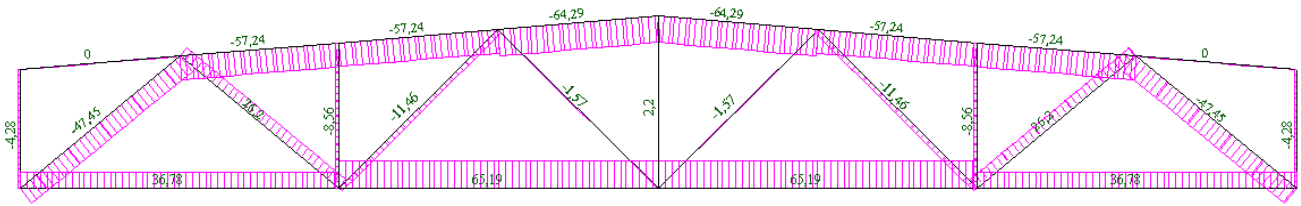




Рис. 4.25



Епюри і значення внутрішніх зусиль в стержнях отримані відносно місцевих координатних систем X1 Y1 Z1.

### Перевірка несучої здатності сталевих перерізів

#### *Встановлення параметрів*

У вкладці **Постпроцесори** натискаємо кнопку **Перевірка перерізів із металопрокату**  і в наборі кнопок – **Встановлення параметрів**  в розділі марки сталі діалогового вікна **Параметри налаштування** вибираємо зі списку марку **C255** і натискаємо **ОК**.

#### *Задавання груп конструктивних елементів*

Активізуємо кнопку **Призначення груп конструктивних елементів** . Виділяємо елементи верхнього поясу і натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі. В розділі **Групи** діалогового вікна **Групи конструктивних елементів для перевірки перерізів** в текстове поле вписуємо ім'я групи елементів, назву групи **Верхній пояс**. В розділі **Коефіцієнт розрахункової довжини** задаємо коефіцієнти **В площині XoZ (1)**, **В площині XoY (1)**. Вікно приймає вигляд, показаний на рис. 4.26.

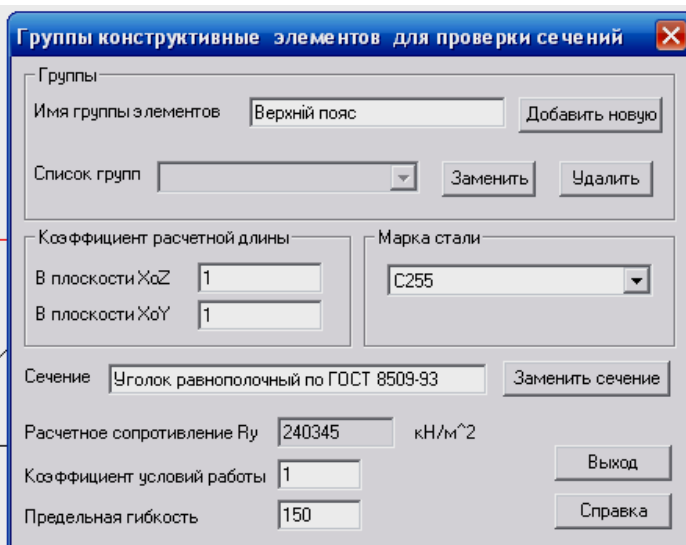



Рис. 4.26

Натискаємо кнопку **Додати нову**, а потім – **Вихід**.

Далі виділяємо елементи нижнього поясу і натискаємо кнопку

**Підтвердження**  інструментальної панелі. В діалоговому вікні **Групи конструктивних елементів для перевірки перерізів** задаємо ім'я групи **Нижній пояс** та натискаємо на кнопку **Додати нову**, потім – **Вихід**.

Таким же способом об'єднуємо стійки і розкоси в однойменні групи.

## Розрахунок



Після натискання кнопки **Розрахунок** програма виконує перевірку несучої здатності конструктивних елементів і/або груп конструктивних елементів.

### Відображення результатів розрахунку

На схемі можливо відобразити і результати розрахунків по кожному із факторів, які визначають несучу здатність об'єктів перевірки. Для цього необхідно вибрати в списку найменування фактору, який Вас зацікавив і натиснути кнопку **Візуалізація результатів на**



**схемі**. Якщо фактор не вибраний, то результати відображаються за значенням критичного фактору для кожного конструктивного елемента і групи конструктивних елементів.

Конструктивні елементи відображаються на схемі двома кольорами – зеленим, якщо несуча здатність достатня, або червоним – в протилежному випадку. Якщо конструктивний елемент чи група елементів входять в групу уніфікації, то всі вони будуть відображатися червоним кольором, якщо хоча б один з об'єктів цієї групи не пройшов перевірку за несучою здатністю (рис. 4.27).

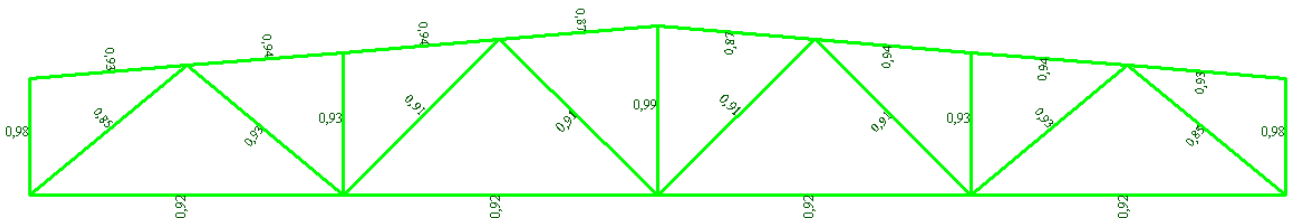


Рис. 4.27

### Підбір перерізів



Для виконання цієї операції натискаємо кнопку **Підбір перерізів**. В діалоговому вікні **Результати підбору перерізів** активізуємо пункт **Застосувати підбрані перерізи (Необхідний повторний розрахунок)**. Натискаємо на кнопку **Вихід** і відповідаємо **Так** на питання **Прийняти зміни перерізів? (Необхідний повторний розрахунок)**. Знову активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту. У вікні **Параметри розрахунку** натискаємо **ОК**. На питання повідомлення **SCAD – Проект був модифікованим. Зберегти зміни?** Відповідаємо **Так**. Далі натисканням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів. Активізуємо пункт **Графічний аналіз**, заходимо



на вкладку **Постпроцесори** і натискаємо кнопку **Перевірка перерізів із металопрокату**



Знову активізуємо кнопку **Розрахунок**.



Для перегляду результатів перевірки підібраних перерізів натискаємо кнопку **Візуалізація результатів на схемі**. Якщо підбрані перерізи мають достатню несучу здатність, вони будуть виділені зеленим кольором.

### Підготовка результатів розрахунку для наступного експорту

Для збереження розрахункової схеми рами необхідно на вкладці **Деформації** або на вкладці **Епюри зусиль** (на вибір користувача) активізувати кнопку **Відображення розрахункової схеми**



при цьому вона не буде відображатися повністю до тих пір, поки не будуть активізовані відповідні кнопки панелі **Фільтри відображень: Номери вузлів**



**Номери елементів**



**Номери типів жорсткості**



**В'язі**



**Шарніри**



**Вузли**



**Вузлові навантаження**




**Розподілені навантаження**



**Зосереджені**

навантаження  тощо. Далі переходимо до вкладки **Управління** і натискаємо на кнопку **Збереження образу екрану**, де в запропонованому вікні **Текст коментарів** вводимо **Розрахункова схема**, а потім в діалоговому вікні **Збереження образу екрану**  – ім'я файлу.

Подібні операції можна здійснювати для всіх необхідних графічних даних (епюр внутрішніх зусиль, вихідної та деформованої схем рами).

Переходимо на закладку **Управління** і активізуємо **Увійти в екран управління проектом** . В розділі **Результати** дерева проекту ставимо курсор в пункт **Документування**, в результаті чого з'явиться діалогове вікно **Виведення результатів**.

Кожній кнопці керування відповідає діалогове вікно для налаштування таблиць окремого виду. Всі вікна, окрім налаштування таблиць вихідних даних, мають однаковий набір елементів керування і єдині правила роботи. Розглянемо роботу з вікнами на прикладі налаштування таблиць з вихідними даними.

Ставимо галочку напроти надпису **Вся схема**, активізуючи відображення всіх вузлів і елементів схеми.

Далі в лівій частині вікна відповідними кнопками керування вказуємо відображувану інформацію детально по кожному пункту. Наприклад, при натисканні на кнопку **Вихідні дані** відмічаємо пункти: **Жорсткість**, **Величини навантажень**. Далі натискаємо кнопку **Ілюстрації** і додаємо в правому полі вікна необхідну схему, використовуючи, по мірі необхідності, можливість перегляду схем які додаються. Так, наприклад, в розділі **Вихідні дані** ми включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділі **Переміщення** – вихідну і деформовану схеми, а в розділі **Зусилля і Напруження** – епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення** і **Зусилля і напруження** необхідно відмітити пункт **Вся схема**. Закінчуємо роботу з вікнами натисканням кнопки **ОК**.

#### **Експорт результатів розрахунку в редактор MSWord**

Експорт даних звіту MSWord є можливим при натисканні кнопки **Створити документ MSWord** діалогового вікна **Виведення результатів**, при цьому із запропонованих версій MSWord 7.0 і MSWord 97 обираємо MSWord 97.

Наступна дія – вказати ім'я файлу результатів.

#### **Вихід із обчислювального комплексу**

Для виходу з обчислювального комплексу натискаємо на кнопку **Вихід із SCAD**  і відповідаємо **Так** на запитання **Завершити роботу?**

#### **Контрольні питання**

1. Переваги та недоліки металевих ферм.
2. Застосування ферм в будівництві.
3. Окреслення ферм.
4. Як виконують підбір перерізу ферм?
5. Забезпечення стійкості ферм.
6. Як відбувається призначення типів скінченних елементів?
7. Як завантажити ферму власною вагою?
8. Особливості роботи ферм під навантаженням.

### 4.3. Металеві структурні конструкції

#### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, геометрична схема і основні розміри структури представлені на рис. 4.28.

Структура спирається на три шарнірно-рухомі і одну шарнірно-нерухому опори, в кожній з яких сходяться по чотири опорних розкоси, що йдуть від тіла структури.

Кріплення у вузлах структури вважати шарнірним.

Структура завантажена зосередженими силами, прикладеними у вузлах верхнього поясу.

Елементи структури виконані з одного матеріалу (сталь звичайна).

Поперечний переріз всіх елементів структури - трубчастий.

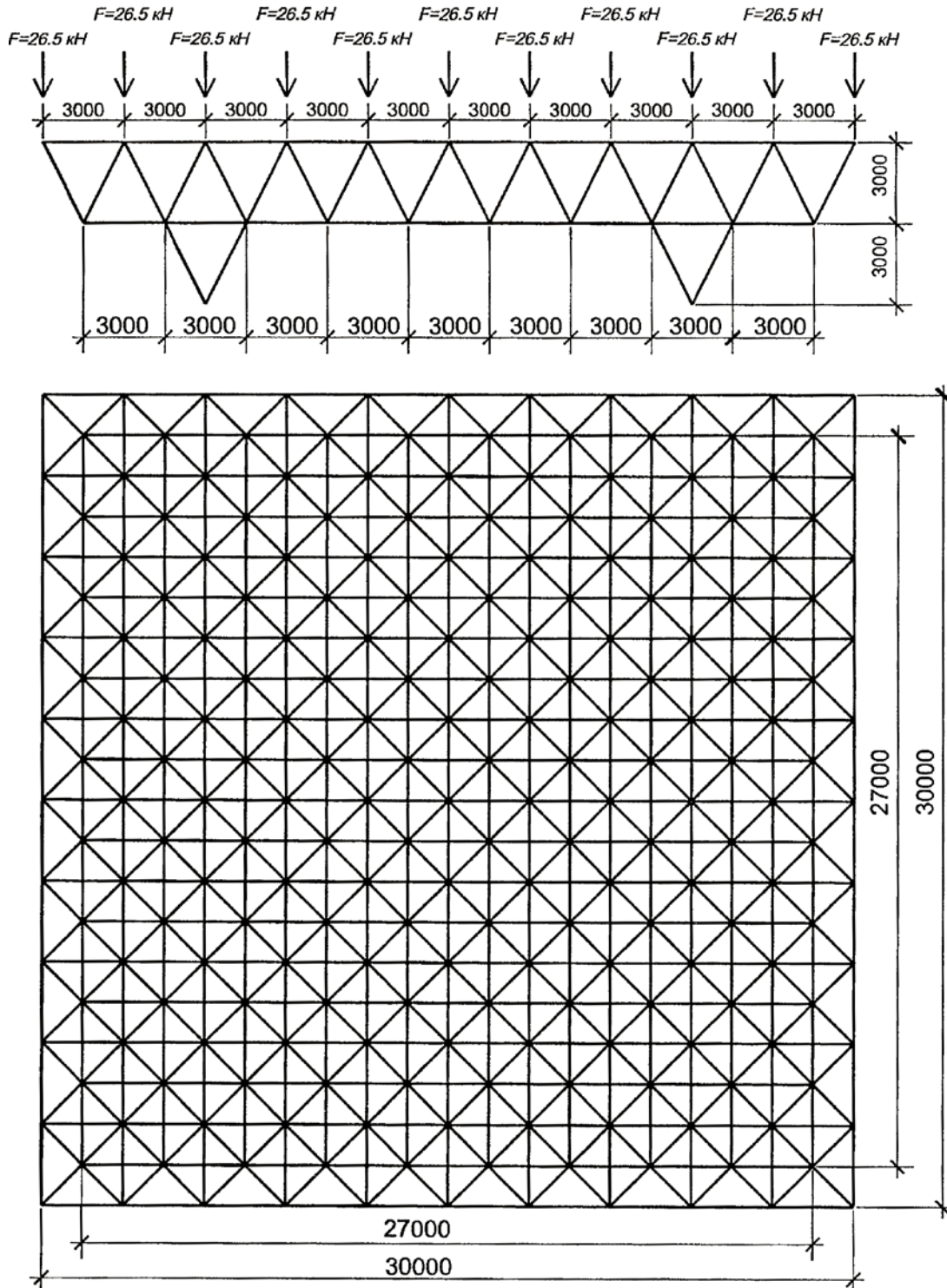


Рис. 4.28

### Завдання

Для запропонованої схеми завантаженої структури за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задачі:

- сформулювати її розрахункову стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- відобразити на екрані монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- виконати перевірку несучої здатності сталевих перерізів;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і виконати експорт.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

#### Запуск розрахункового комплексу



Для запуску розрахункового комплексу необхідно натиснути на піктограмі **SCAD**.


#### Створення проекту

Створюємо новий проект, при цьому вибираємо тип схеми **4 – Просторова шарнірно-стержнева система**.

#### Формування розрахункової схеми конструкції

Спростити формування структури можна, створюючи одиничний елемент конструкції і застосовуючи інструмент копіювання схеми. Для початку переходимо до вкладки **Вузли і**

**елементи**, натискаємо кнопку **Вузли**  і у наборі кнопок – кнопку **Введення вузлів** . Далі послідовно вводимо вузли по координатам **X, Y, Z** ((0; 0; 3), (3; 0; 3), (3; 3; 3), (0; 3; 3), (1.5; 1.5; 0), (1.5; 4.5; 0), (4.5; 1.5; 0)). Після введення наступних трьох координат необхідно кожний раз активувати кнопку **Добавити** діалогового вікна **Введення вузлів**.

Наступний крок – призначення стержнів. Для цього у вкладці **Вузли і Елементи** активізуємо кнопку **Елементи**  і натискаємо кнопку **Добавлення стержнів**.

Встановлюємо курсор на вузол 1, натискаємо ліву кнопку миші, курсором “тягнемо нитку” від вузла 1 до вузла 4 і знову натискаємо ліву кнопку. Подібні операції виконуємо для вузлів 4 і 3; 2 і 3; 1 і 2; 1 і 5; 5 і 2; 5 і 6; 5 і 4; 5 і 3; 5 і 7. В результаті в графічному полі вікна програми отримуємо зображення одиничного елемента (рис. 4.29).

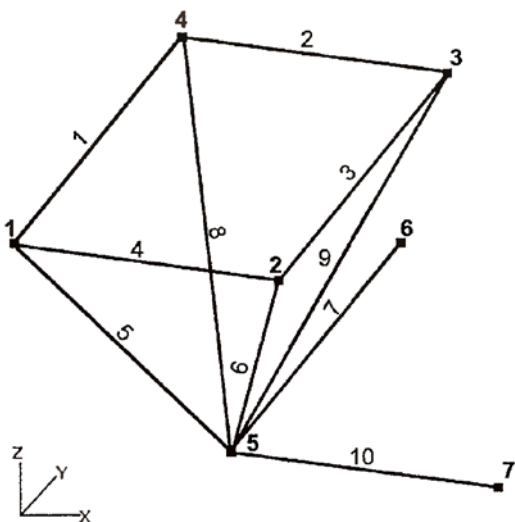



Рис. 4.29

Далі необхідно створити всю структуру, застосовуючи інструмент копіювання. Заходимо до вкладки **Схема** і натискаємо кнопку **Копіювання**

**схеми** . В діалоговому вікні **Копіювання схеми** залишаємо активними за замовчуванням пункт **Копіювати в напрямку** і напрямлення копіювання - **X**. Далі заповнюємо таблицю **Крок** (3); **Кількість** (9).

Відмічаємо пункти **Видаляти співпадаючі вузли**, **Видаляти співпадаючі елементи**. Діалогове вікно при цьому буде мати вигляд, показаний на рис. 4.30. В завершення натискаємо кнопку **ОК**.

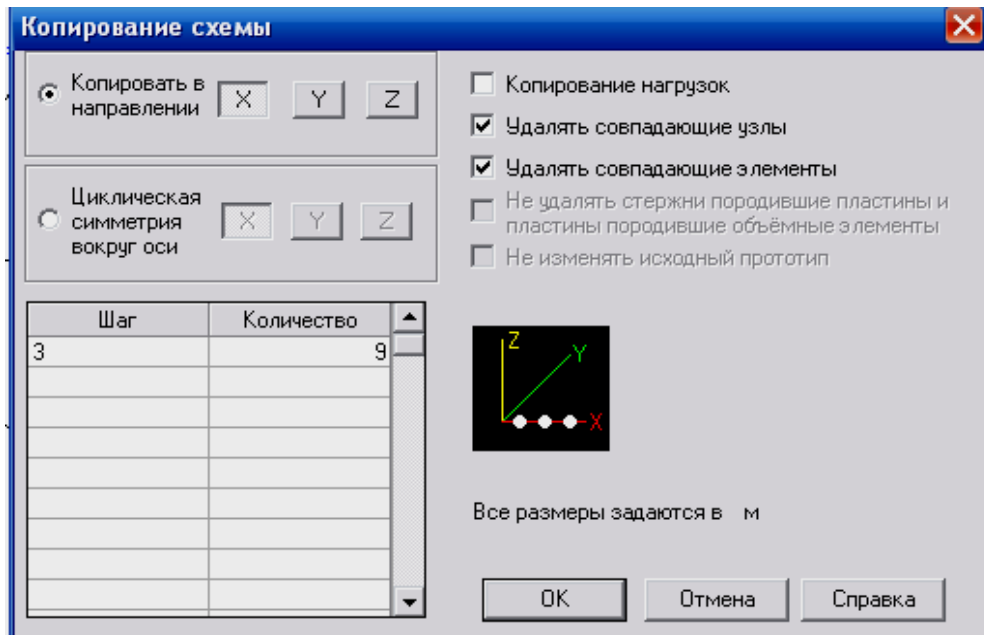



Рис. 4.30

У відповідь на питання **Зберегти результати копіювання?** вікна повідомлень **SCAD** натискаємо кнопку **Так**.

Далі виконуємо аналогічні, описані вище, операції, при цьому вказуємо напрямок копіювання – Y, а інші пункти залишаємо без змін.

В результаті після натиснення на кнопку **Проекція на площину**

**XoY**  панелі **Візуалізація** отримуємо схему, показану на рис. 4.31.

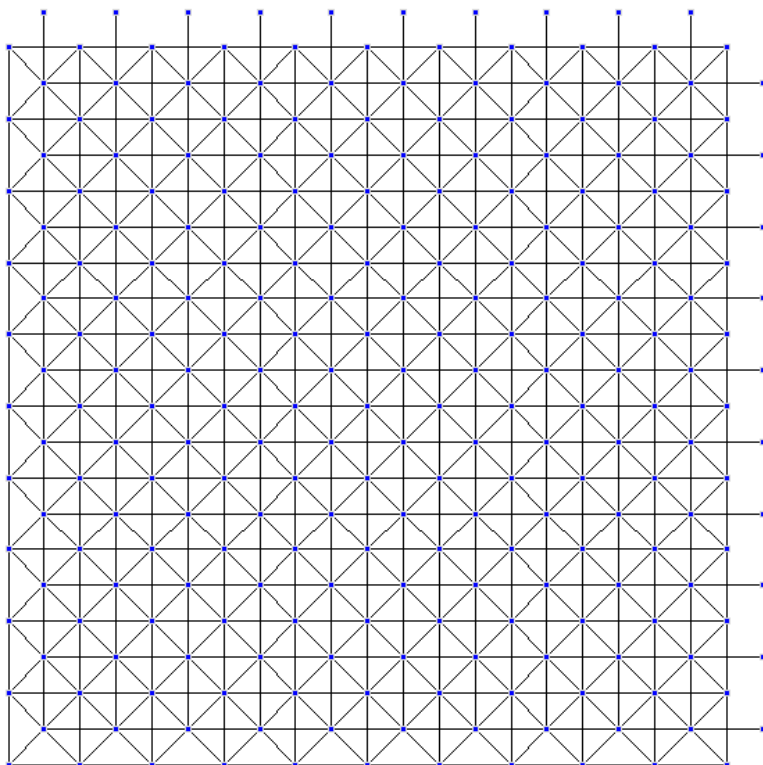





Рис. 4.31

#### Коригування схеми

На даному етапі необхідно видалити зайві вузли. Це вузли крайнього верхнього і крайнього правого рядів. Примикаючи до них елементи будуть видалені автоматично. Заходимо до вкладки **Вузли** і **Елементи** і



активізуємо кнопку **Вузли** . В наборі кнопок натискаємо

**Видалення вузлів** . Виділяючи курсором на схемі вузли, що необхідно видалити, натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Добавляємо опорні вузли. Активізуємо **Введення вузлів**  і задаємо координати: (6; 24; -3), (24; 6; -3), (24; 24; -3), (6; 6; -3).





Добавляємо опорні розкоси, з'єднуючи стержнями з вузлами нижнього поясу введені раніш опорні вузли: вузол 242 – з вузлами 158, 160, 180, 182; вузол 243 – з вузлами 34, 38, 60, 62; вузол 244 – з вузлами 170, 172, 192, 194; вузол 245 – з вузлами 10, 14, 48, 50. Для цього

активізуємо кнопку **Елементи**  у вкладці **Вузли і Елементи** і в наборі кнопок, що відкрилися натискаємо кнопку **Введення стержневих елементів** .

#### Призначення жорсткостей елементам

У вкладці **Призначення** головної панелі інструментів натискаємо кнопку **Призначення**

жорсткостей стержням . У діалоговому вікні (рис. 4.32) **Жорсткості стержневих елементів** активізуємо перемикач **Профілі металопрокату**, потім в каталозі **Труби сталеві безшовні горячедеформовані, ГОСТ 8732-78** розділу **Повний каталог профілів ГОСТ..>** вкладки **Профілі металопрокату** вибираємо (розкриваючи зміст каталогу натисненням на символ «+») профіль **Ø60x3**. В низхідному списку розділу **Матеріал** вибираємо **Сталь звичайна**. Вікно набуде вигляду, представленого на рис. 4.33. Натискаємо кнопку **ОК**. Елементам верхнього і нижнього поясів призначаємо перший тип жорсткості. Для цього натискаємо на правую кнопку миші і в діалоговому вікні, що відкрилося, **Вибір вузлів і елементів** спочатку в розділі **Вибір стержнів** активізуємо кнопку **Горизонтальні**, потім - **Інвертувати вибір елементів** і в завершення - кнопку **ОК**. Присвоюємо вибраний тип жорсткості виділеним стержням, натискаючи кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

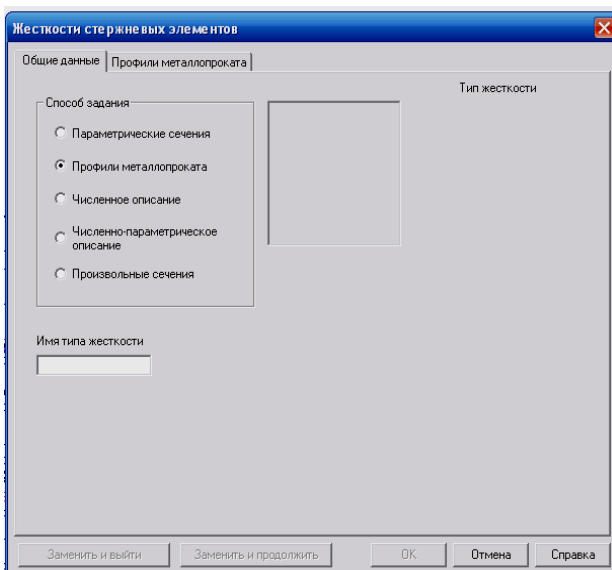


Рис. 4.32

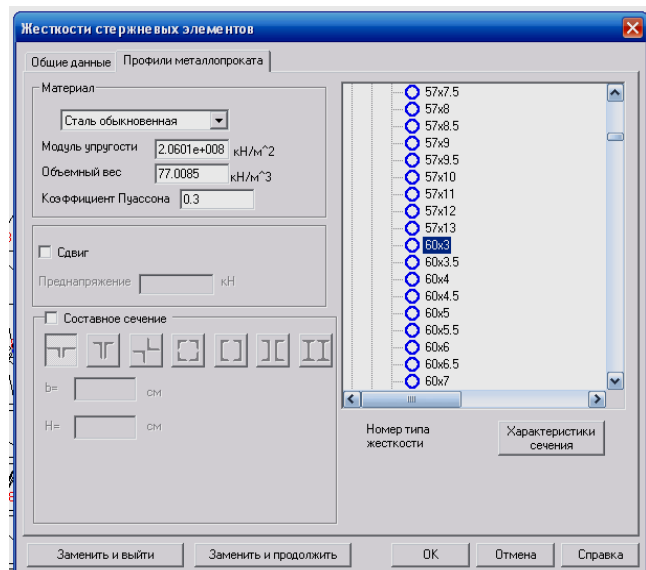



Рис. 4.33


Аналогічним чином вибираємо в каталозі профіль **Ø70x3** і задаємо розкосам другий тип жорсткості. Для цього натискаємо на праву кнопку миші і відмічаємо кнопку **Горизонтальні** в діалоговому вікні **Вибір вузлів і елементів**, а потім в розділі **Вибір стержнів** спочатку натискаємо кнопку **Похилі**, а потім - **Інвертувати вибір елементів** і в завершенні - **ОК**. Виділені елементи будуть пофарбовані в червоний колір. Натискаючи кнопку **Підтвердження**




інструментальної панелі, присвоюємо другий тип жорсткості виділеним елементам.

Подібним же чином призначаємо опорним розкосам третій тип жорсткості, вибираючи в каталозі **Ø102x4**. При необхідності орієнтації структури використовуємо інструменти панелі **Візуалізація** (наприклад, обертання навколо осей). Завершаємо задавання натисненням кнопки **Підтвердження**  інструментальної панелі.

### Накладання в'язей в опорних вузлах структури

Кнопкою **Встановлення зв'язків у вузлах**  в розділі **Призначення** інструментальної панелі визиваємо діалогове вікно **Зв'язки**. В режимі **Повна заміна** активізуємо кнопку **Z** (рис. 4.34) і натискаємо кнопку **ОК**. Позначаємо курсором на схемі вузли 242, 243, 244 і відмічаємо

**Підтвердження**  інструментальної панелі, тим самим забезпечуючи шарнірно-рухоме закріплення опорних вузлів з реакцією по осі Z.

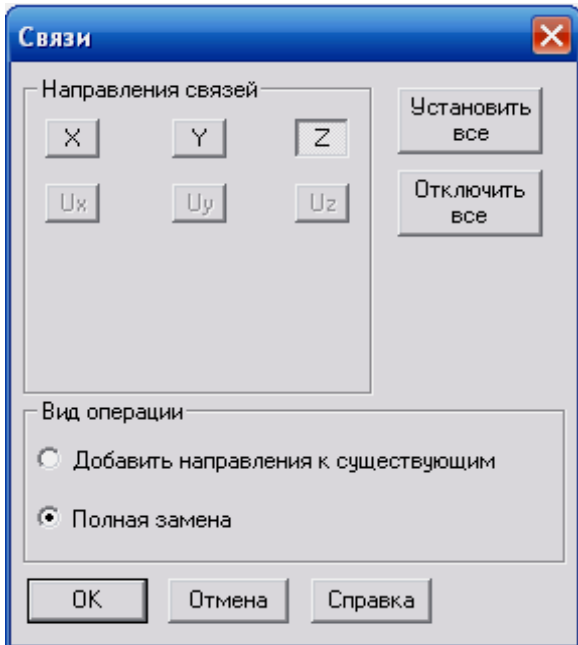





Рис. 4.34

Опорний вузол 245, що залишився, закріплюємо в трьох площинах шарнірно-нерухомою опорою. Для цього ще раз натискаємо


**Встановлення зв'язків у вузлах** . В діалоговому вікні **Зв'язки** в режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X, Y, Z** і натискаємо кнопку **ОК**. Позначаємо курсором на схемі вузол: 245 і

активізуємо **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Візуальний контроль правильності постановки опорних зв'язків виконуємо натисненням кнопки **Зв'язки**  на панелі **Фільтри відображення**.

### Задавання завантажень структури

Задавання вузлової зосередженої сили  $F=26.5$  кН, прикладеної у вузлах верхнього поясу.

У вкладці **Завантаження** кнопкою **Вузлові навантаження**  визиваємо однойменне діалогове вікно (рис. 4.35). Вводимо в поле **Z** значення **26.5** і натискаємо **ОК**. На схемі відмічаємо вузли верхнього поясу. На панелі **Візуалізація** натискаємо **Проекція на площину XoZ**, потім – праву кнопку миші, розміщуючи курсор в графічній області.

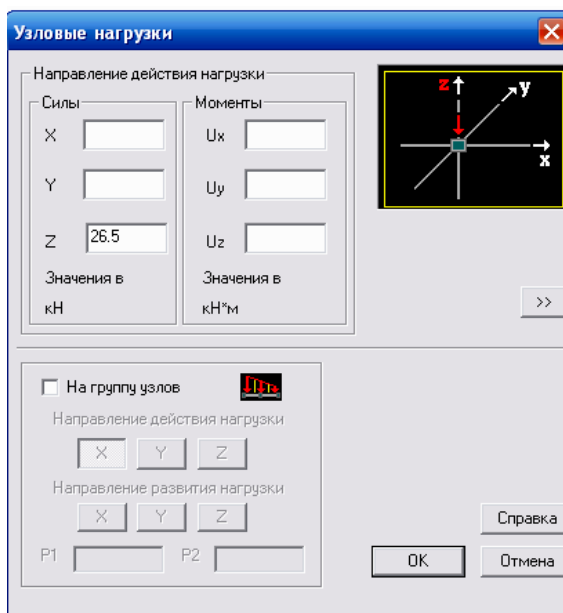




Рис. 4.35

В розділі **Вид курсору** у діалоговому вікні **Вибір вузлів і елементів** натискаємо кнопку **Прямокутник** і виділяємо в рамочку вузли верхнього поясу. Завершуємо задавання

активізацією **Підтвердження**  інструментальної панелі. Візуальний контроль навантажень виконуємо за допомогою кнопок

**Вузлові навантаження**  і **Значення**

**навантажень**  панелі **Фільтри відображення**. На екрані з'являється завантажена схема структури (рис. 4.36).

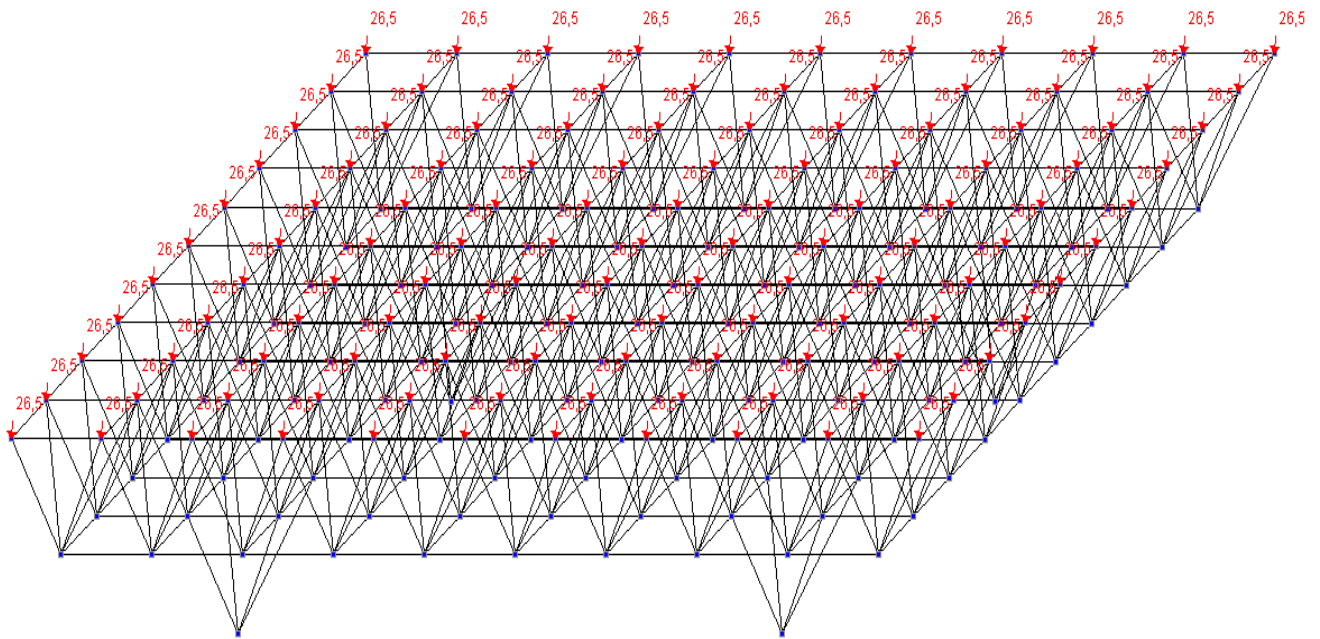






Рис. 4.36


Записуємо створене завантаження в проект, відмічаючи **Зберегти/Добавити завантаження**  інструментальної панелі. В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження**, номер завантаження **1**, натискаємо кнопку **ОК** і відповідаємо **Так** на питання **Перейти до формування наступного навантаження?**

Задавання завантаження власною вагою виконуємо кнопкою **Власна вага** . Для запису створеного завантаження в проект відмічаємо **Зберегти/Добавити завантаження**  інструментальної панелі. В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Власна вага**, номер завантаження **2**, натискаємо **ОК** і відповідаємо **Ні** на питання **Перейти до формування наступного завантаження?**

#### *Перенумеровування вузлів і елементів*

Активізуємо **Упаковка даних**  у вкладці **Управління** і на питання **Видаляти вузли, що не приналежать елементам?** натискаємо **Так**.

#### *Задавання розрахункових сполучень зусиль*

У вкладці **Керування** натискаємо кнопку **Ввійти в екран керування проектом** . Розкриваємо зміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натискаємо на знак «+») розділу **Вихідні дані** дерева проекту. Активізуємо пункт **Розрахункові сполучення зусиль** і в колонці **Тип таблиці Завантаження** для корисного навантаження вибираємо **Тимчасово довготривале діюче**. Закінчуємо роботу натиснувши **ОК**.

#### **Статичний розрахунок**

Для виконання статичного розрахунку активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту. В діалоговому вікні **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**. Відповідаємо **Так** на питання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** Якщо розрахунки виконані правильно, то у вікні **Протокол виконання розрахунку** (рис. 4.37) буде відмічено **Завдання виконано**, в іншому випадку на екрані з'явиться зауваження (наприклад, **Геометрично змінювана система**). Далі натискаємо кнопку **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів.

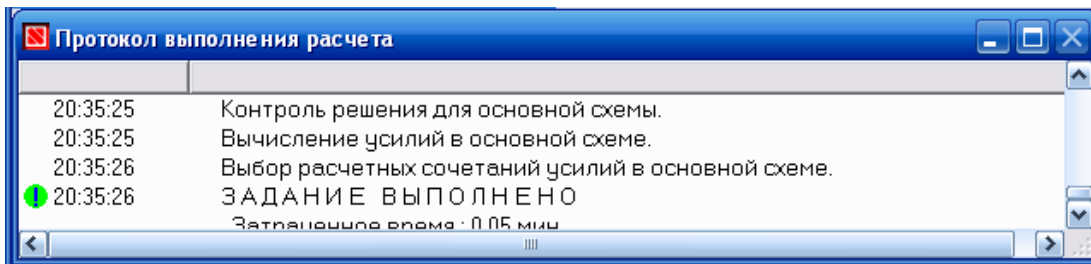


Рис. 4.37

**Перегляд результатів статичного розрахунку**

В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в позицію **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесору. У вкладці **Деформації** натискаємо кнопку **Сумісне**

**відображення вихідної і деформованої схеми** , в результаті чого на екрані отримуємо зображення (див. рис. 4.38).

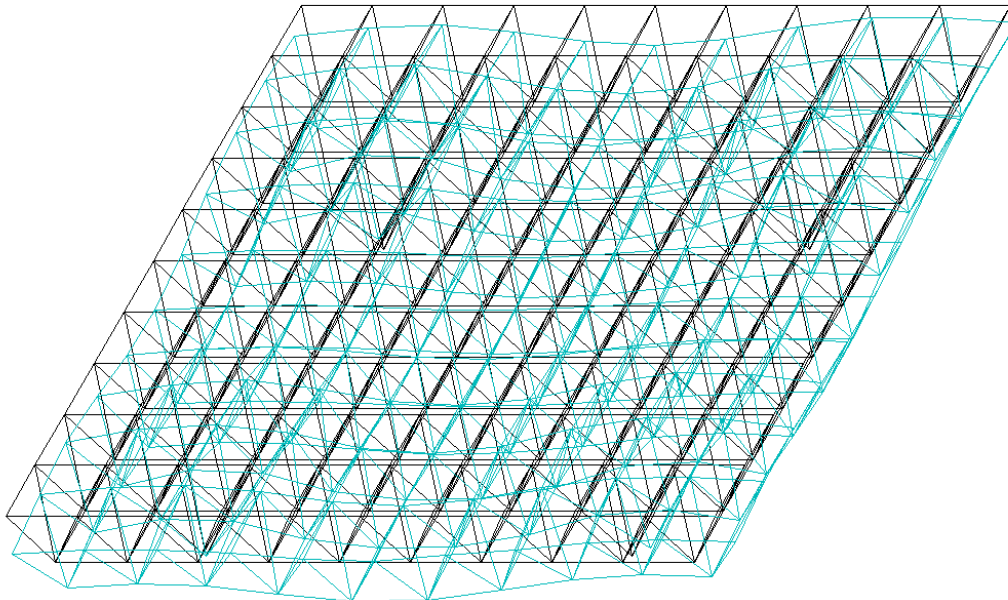



Рис. 4.38

Для отримання епюри повздовжніх сил в стержнях структури у вкладці **Епюри зусиль** вибираємо **N** в списку **Вибір виду зусилля**, натискаємо кнопку **Епюри зусиль** , інструментальної панелі (рис. 4.39).

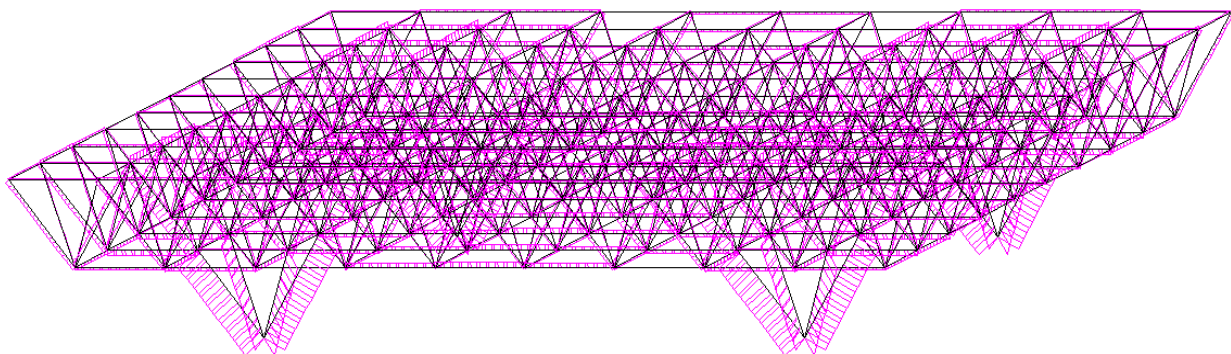






Рис. 4.39

Для отримання значень максимальних зусиль в стержнях натискаємо кнопки **Кольорова індикація додатних значень зусиль**  або **Кольорова індикація від'ємних значень зусиль** . Аналогічним чином можна вивести на екран епюри інших внутрішніх зусиль, вибираючи їх з низхідного списку **Вибір виду зусиль**.


Епюри і значення внутрішніх зусиль в стержнях отримані відносно відповідних місцевих координатних систем  $X_1$   $Y_1$   $Z_1$ .

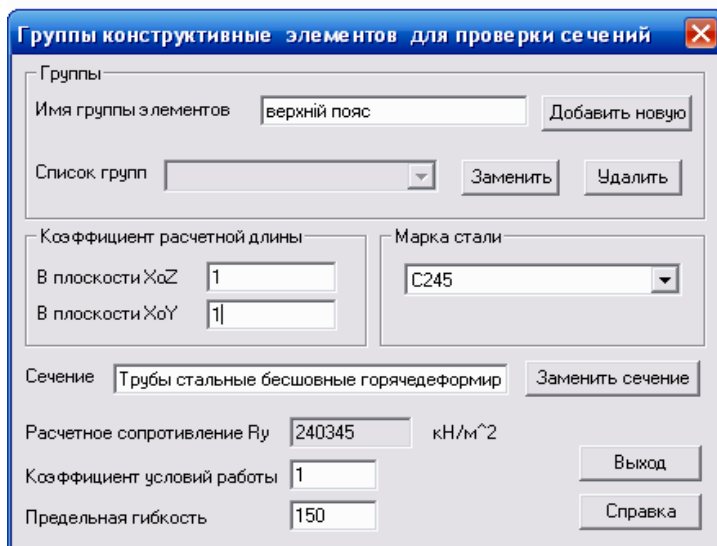
### Перевірка несучої здатності сталевих перерізів

#### Установка параметрів

Заходимо до вкладки **Постпроцесори** і активізуємо **Перевірка перерізів з металопрокату** . У наборі кнопок відмічаємо **Установка параметрів** . В розділі **Марки сталі** діалогового вікна **Параметри налаштувань** вибираємо марку **C245** з низхідного списку і натискаємо кнопку **ОК**.

#### Задавання груп конструктивних елементів

Натискаємо **Призначення груп конструктивних елементів**  і виділяємо елементи, які будемо заносити в групу. Натискаємо праву кнопку миші, розміщуючи курсор в графічному полі вікна програми. Далі в розділі **Вид курсору** діалогового вікна **Вибір вузлів** відмічаємо кнопку **Прямокутник**. Далі прямокутником виділяємо елементи верхнього поясу, попередньо натиснув на кнопку **Проекція на площину XoZ**.





Активізуємо **Підтвердження**  інструментальної панелі. В розділі **Групи** діалогового вікна **Групи конструктивних елементів для перевірки перерізів** в текстове поле **Ім'я групи елементів** вписуємо назву групи – **Верхній пояс**. В розділі **Коефіцієнт розрахункової довжини** задаємо коефіцієнти **В площині XoZ (1)**, **В площини XoY (1)**. Вікно приймає наступний вигляд (див. рис.4.40).


Рис. 4.40

Натискаємо на кнопку **Добавити нову**, далі – **Вихід**.

Далі виділяємо елементи нижнього поясу. Знову активізуємо **Підтвердження**  інструментальної панелі і в діалоговому вікні **Групи конструктивних елементів для перевірки перерізів** задаємо ім'я групи **Нижній пояс**. Натискаємо на кнопку **Добавити нову**, потім – **Вихід**.

Подібним чином об'єднуємо розкоси в групу **Розкоси**, а опорні розкоси – в групу **Опорні розкоси**.

#### Задавання груп уніфікації

Елементи, об'єднані в уніфіковану групу, за результатами виконаних розрахунків отримують однакові перерізи. Для задавання груп уніфікації активізуємо **Призначення груп уніфікації** . В діалоговому вікні **Групи уніфікації для перевірки перерізів** (рис. 4.41) вводимо ім'я групи уніфікації **Поясу**.

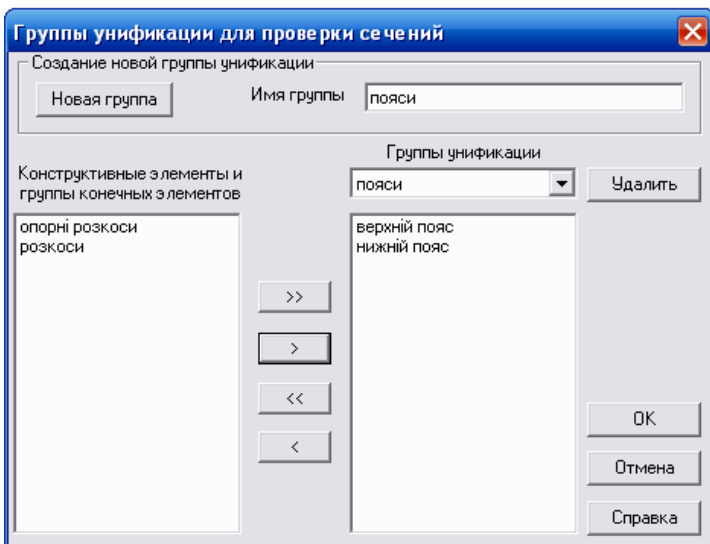


Рис. 4.41

Натискаємо кнопку **Нова група**. Створена група **Поясу** з'являється в списку **Групи уніфікації**. Далі в списку **Конструктивні елементи і групи скінченних елементів** виділяємо пункти **Верхній пояс**, **Нижній пояс** і натискаємо на кнопку з символом вказівника направо. Пункти **Верхній пояс** і **Нижній пояс** з'являються в правому списку. Вікно при цьому має вид, представлений на рис. 4.41.

Далі вписуємо в пункт **Ім'я групи** нове ім'я **Розкоси** і натискаємо кнопку

**Нова група**. Далі в списку **Конструктивні елементи і групи скінченних елементів** виділяємо пункт **Розкоси** і натискаємо на кнопку з символом вказівника направо. Завершуємо роботу з вікном натисненням кнопки **ОК**.


### Розрахунок



При натисненні кнопки **Розрахунок** програма виконує перевірку несучої здатності конструктивних елементів і/або груп конструктивних елементів.

### Відображення результатів розрахунку

Для відображення результатів необхідно вибрати в списку факторів найменування

необхідного фактору і натиснути кнопку **Візуалізація результатів на схемі** . Якщо фактор не вибраний, то результати відображаються за значенням критичного (що має максимальне значення) фактору для кожного конструктивного елемента і групи конструктивних елементів.

Конструктивні елементи можуть відображатися на схемі двома кольорами - зеленим, якщо несуча спроможність забезпечена, або червоним - в іншому випадку. Якщо конструктивний елемент або група конструктивних елементів входять в групу уніфікації, то вони будуть відображені червоним кольором, якщо хоча б один з об'єктів цієї групи не пройшов перевірку за несучою спроможністю (рис. 4.42).

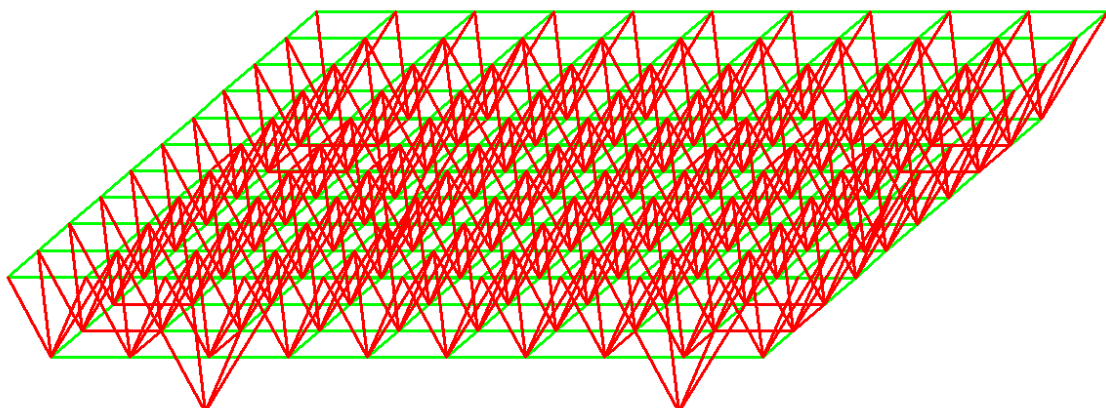


Рис. 4.42



### Підбір перерізів




При активації кнопки **Підбір перерізів** з'являється діалогове вікно **Результати підбору перерізів**. У вікні відмічаємо пункт **Застосувати підібрані перерізи (необхідний**

**перерахунок**). Далі натискаємо на кнопку **Вихід** і на екрані з'являється питання вікна повідомлення **SCAD Застосувати змінені Вами перерізи? (Необхідний повторний перерахунок)**. Відповідаємо **Так**. Знову активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту. У вікні **Параметри розрахунку** натискаємо **ОК**. Відповідаємо **Так** на питання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** Далі натисненням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів розрахунку. Активізуємо пункт **Графічний аналіз**. Заходимо до вкладки **Постпроцесори** і відмічаємо кнопку **Перевірка перерізів з**




**металопрокату** . Далі знову натискаємо кнопку **Розрахунок** . Для аналізу результатів перевірки підібраних перерізів натискаємо кнопку **Візуалізація результатів на**



**схемі** . Якщо в результаті деякі елементи будуть виділені червоним кольором, відповідно, вони не мають достатньої несучої здатності, і необхідно повторно провести операцію підбору перерізів.

### **Підготовка результатів розрахунку для наступного експорту**

Результати розрахунку зберігаємо для включення у звіт, створюваний SCAD. Наприклад, для збереження розрахункової схеми рами у вкладці **Деформації** або у вкладці **Епюри**

**зусиль** (на вибір користувача) активізуємо **Відображення розрахункової схеми** . При цьому розрахункова схема не буде відображена повністю до тих пір, поки не будуть


активовані відповідні кнопки панелі **Фільтри відображення - Номера вузлів** ,

**Номера елементів** ,

**Номера типів жорсткості** ,

**Зв'язки** ,


**Шарніри** ,

**Вузли** ,

**Вузлові навантаження** ,

**Розподілені навантаження** ,

**Зосереджені навантаження**  тощо. Далі переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо на кнопку **Збереження**

**образу екрану**  де в запропонованому вікні **Текст коментаріїв** вводимо **Розрахункова**

**схема**, а потім в діалоговому вікні **Збереження образу екрану** – ім'я файлу (будь-яке).

Подібні операції можна виконати для всіх необхідних графічних даних (епюр внутрішніх зусиль, вихідної і деформованої схем рами).


Далі переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо на кнопку **Ввійти в екран**

**керування проектом** . В розділі **Результати** дерева проекту встановимо курсор в пункт **Документування**, в результаті чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів**.

### **Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word**

Експорт даних звіту в MS Word виконуємо активацією **Створити документ MS Word** діалогового вікна **Виведення результатів**, при цьому вибираємо редактор MS Word 7.0 з запропонованих версій. Наступна дія - призначення ім'я файлу результатів розрахунку.

### **Вихід з розрахункового комплексу**

Для виходу з розрахункового комплексу натискаємо на кнопку **Вихід з SCAD** . На питання **Завершити роботу?** відповідаємо **Так**.

### **Контрольні питання**

1. Що собою являть структурні конструкції?
2. Види і класифікація структурних конструкцій.
3. Переваги та недоліки структурних конструкцій.
4. Як виконується перевірка несучої здатності сталевих перерізів?
5. Навіщо задаються групи уніфікації?
6. Як виконують експорт результатів розрахунку?

## 5. Автоматизований аналіз напружено-деформованого стану конструкцій з дерева

### 5.1. Арки стрілочасті

#### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження і геометрична схема представлені на рис. 5.1.

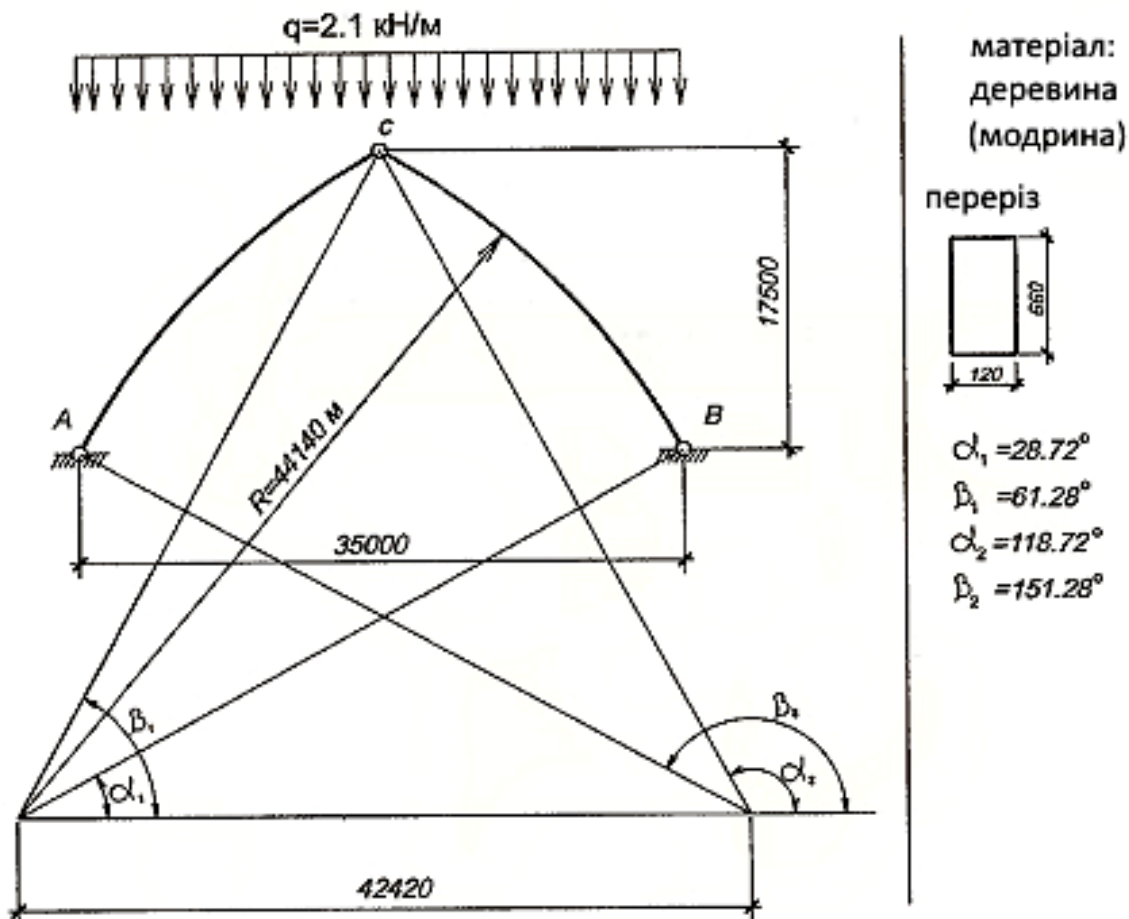


Рис. 5.1

- арка прикріплена до «землі» за допомогою двох шарнірно-нерухомих опор в точках А і В;
- напіварки АС і ВС мають в вузлі С шарнірно-циліндричне з'єднання;
- арка одночасно навантажена в її площині рівномірно розподіленим горизонтальним навантаженням  $q$  і власною вагою;
- елементи арки виконані з дерева (модрина: об'ємна вага –  $6.5 \text{ кН/м}^3$ , модуль пружності –  $1\text{e}+07 \text{ кН/м}^2$ , коефіцієнт Пуассона –  $0,5$ );

#### Завдання

Для запропонованої схеми навантаженої арки за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задачі:

- сформувати її розрахункову стержньову скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого завантаження;
- відобразити на екрані монітора комп'ютера компоненти НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і здійснити експорт.



## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ



### Запуск обчислювального комплексу

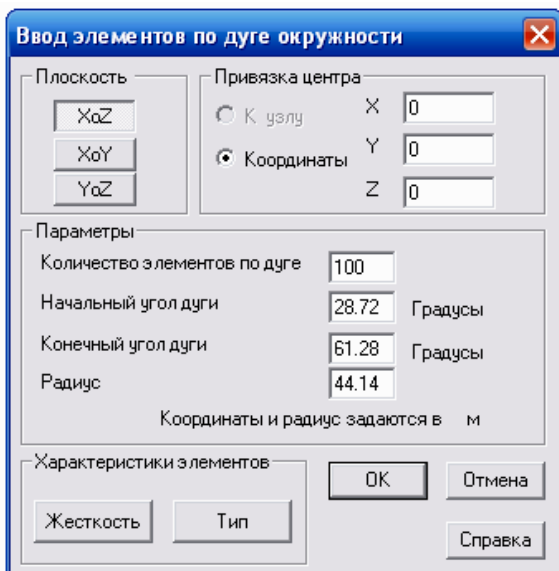
Для запуску обчислюваного комплексу активізуємо на піктограмі **SCAD**.

### Створення проекту

Створюємо новий проект, вибравши тип схеми **2 – Плоска рама**.

### Формування розрахункової схеми

В вкладці **Вузли та Елементи** активізуємо **Елементи**  і в розкритому наборі кнопок натискаємо **Введення елементів по дузі** . На екрані з'явиться діалогове вікно **Введення елементів по дузі кола** (див. рис. 5.2).



В розділі **Параметри** діалогового вікна вводимо **Кількість елементів по дузі (100)**, **Початковий кут дуги (28.72)**, **Кінцевий кут дуги (61.28)**, **Радіус (44.14)**.

Рис. 5.2

В розділі **Характеристики елементів** натискаємо на кнопку **Жорсткість** і в вікні **Жорсткості стержневих елементів** вибираємо **Параметричні розрізи**, потім в розділі **Матеріали** у вкладці **Параметричні перерізи** задаємо наступні характеристики: **Об'ємна вага (6.5)**, **Модуль пружності (1e+07)**, **Коефіцієнт Пуассона (0,5)**; в розділі **Переріз** – залишаємо встановлене за замовчуванням (суцільне прямокутне); в розділі

**Параметри перерізу** задаємо **b** і **h** – відповідно **12** і **66**, потім натискаємо послідовно **ОК** в вікнах **Жорсткості стержневих елементів** і **Ввід елементів по дузі кола** (рис. 5.3). В результаті цих дій отримуємо праву напіварку (рис. 5.4).

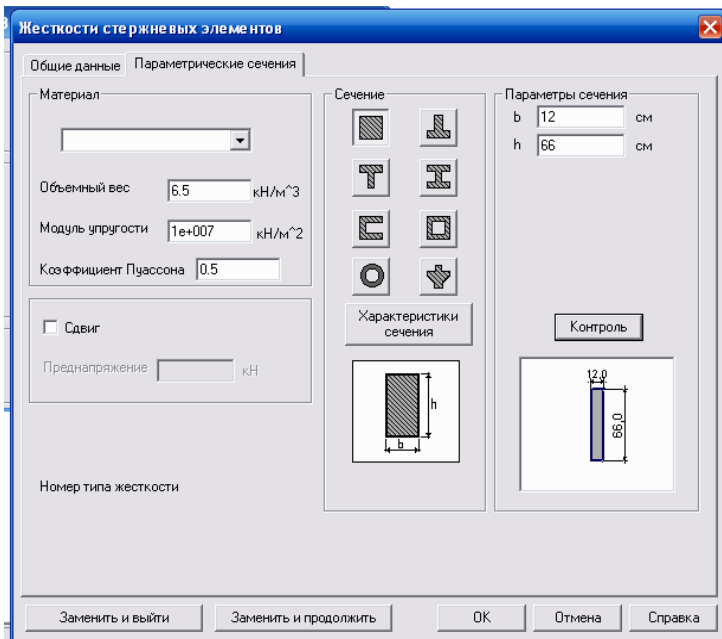


Рис. 5.3

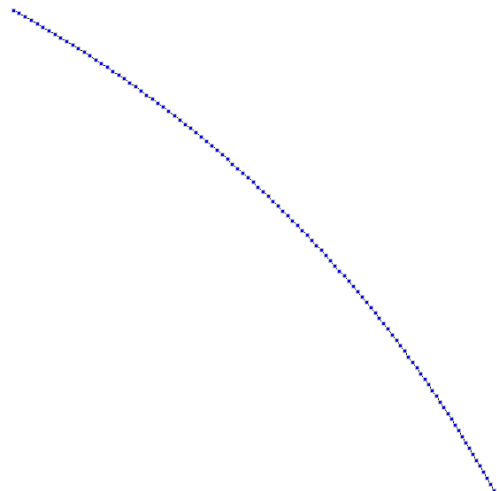


Рис. 5.4

Аналогічно можна отримати і ліву напіварку. В діалоговому вікні **Ввід елементів по дузі кола** – вводимо параметри **Координат X= 42.42, Y= 0, Z=0**.

В розділі **Параметри** – вводимо **Кількість елементів по дузі (100)**, **Початковий кут дуги (118,72)**, **Кінцевий кут дуги (151,28)**, **Радіус (44,14)**. В розділі **Характеристика елементів** натискаємо на кнопку **Жорсткість** і в вікні **Жорсткості стержневих елементів** вибираємо раніше заданий перший тип жорсткості активізацією пункту 1 в розділі **Тип жорсткості**. Потім натискаємо кнопку **ОК** і в вікнах **Жорсткості стержневих елементів** і **Ввід елементів по дузі кола**.

Для відображення більш детальної інформації по схемі можна активізувати відповідні кнопки на панелі **Фільтри відображення**. Наприклад, в задачі що розглядається, кількість елементів по дузі прийнято рівним 100, при такій частій розбивці розібрати номери вузлів і елементів можливо лише з застосуванням інструменту **Збільшення зображення**, що знаходиться на панелі **Візуалізація** (рис. 5.5).

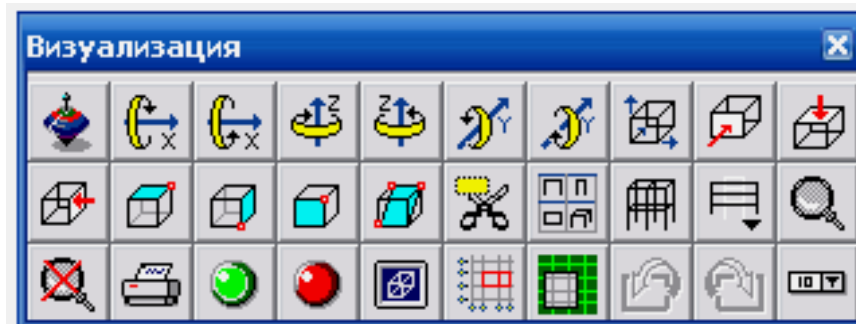


Рис. 5.5

В графічному полі вікна програми отримуємо початкову схему арки (рис. 5.6.)

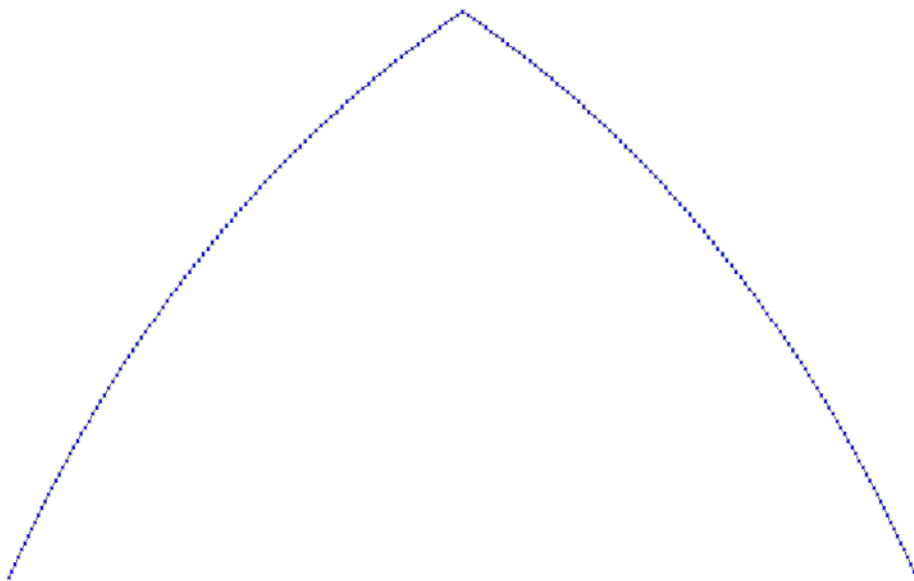




Рис. 5.6


#### *Коригування схеми*

Оскільки довжини заданих дуг однакові, то в вершині арки отримуємо (з деякою точністю) збіг вузлів. Для корегування схеми (об'єднання вузлів) входимо в закладку **Вузли і елементи** головної панелі інструментів. Далі активізуємо кнопку **Вузли** і в розкритому наборі кнопок



відмічаємо **Об'єднання збіжних вузлів** , в результаті на вершині залишається один вузол.

### Накладання в'язей в опорних вузлах

В розділі **Призначення** інструментальної панелі кнопкою **Установка в'язей в вузлах**  викликаємо діалогове вікно **В'язі**. В режимі **Повна заміна** активізуємо кнопки **X**, **Z** (рис. 5.7) і натискаємо кнопку **ОК**.

Виділяємо курсором на схемі вузли 1 і 201, а потім натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі, тим самим забезпечуємо шарнірно-нерухоме закріплення опорних вузлів 1 і 201 рами в площині **XZ**. Візуальний контроль правильності постановки опорних зв'язків виконуємо активізацією кнопки **В'язі** на панелі **Фільтри відображення**.

### Призначення умов примикання стержнів до вузлів

У вкладці **Призначення** кнопкою **Встановлення шарнірів**  визиваємо діалогове вікно **Умови примикання стержнів** (рис. 5.8). Для вивільнення кутових зв'язків (відносно місцевої координатної вісі **Y1** стержня 100) необхідно з'ясувати в якому вузлі стержня вивільняємо зв'язок (у вузлі 1 чи вузлі 2). З цією метою на панелі **Фільтри відображення** активізуємо **Місцеві осі елементів** . Напрямок місцевої осі елемента показує напрямок від першого вузла до другого. Так, наприклад, для стержня 100 необхідно видалити кутовий зв'язок в вузлі 2, ставимо галочку навпроти пункту **UY** в вузлі 2. Потім натискаємо кнопку **ОК**.

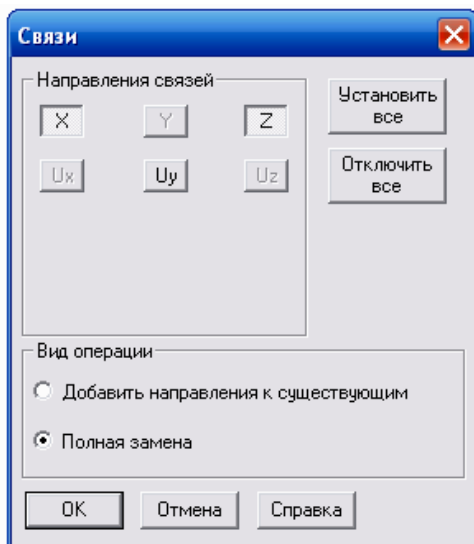


Рис. 5.7

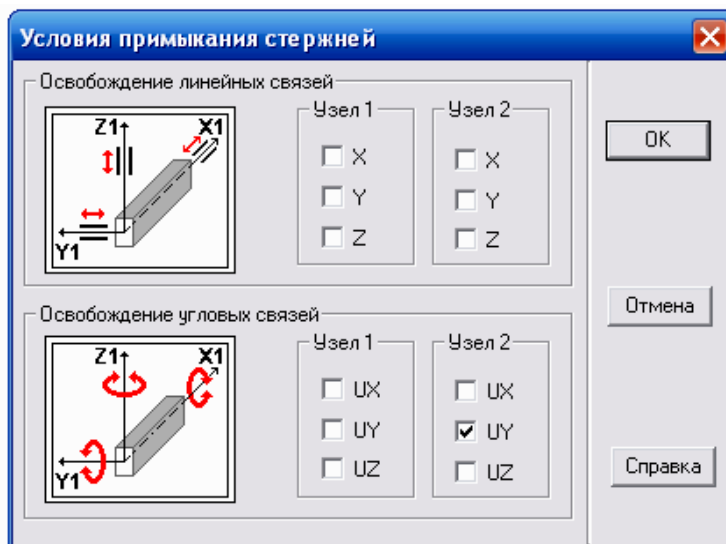



Рис. 5.8

Відмічаємо курсором на схемі стержень 100 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі, тим самим забезпечуємо циліндрично-шарнірне (відносно осі **Y1**) приєднання кінця стержня 100 до вузла 101 (рис. 5.9).

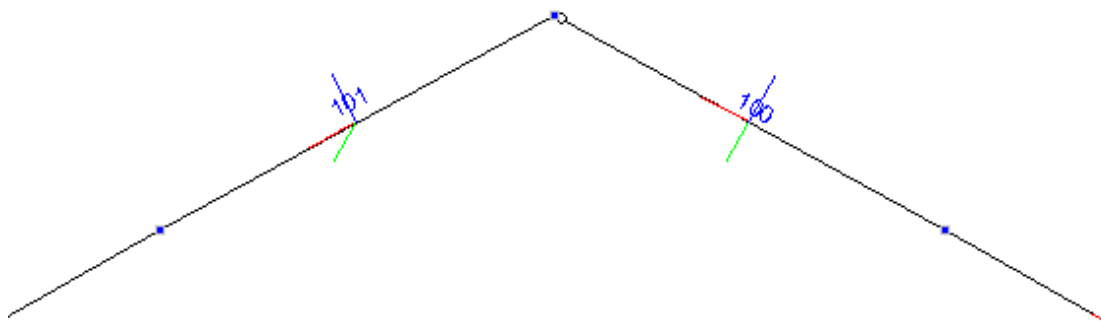




Рис. 5.9

Зазначимо, що зв'язки на кінцях стержнів орієнтовані відносно відповідних місцевих систем координат стержнів.

Візуальний контроль правильності постановки шарнірів виконуємо натиснувши кнопки **Шарніри**  на панелі **Фільтри відображення**.

#### Задавання навантажень

1. Задавання вертикальної рівномірно розподіленого навантаження: на вкладці

**Завантаження** кнопкою **Навантаження на стержні**  викликаємо діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневі елементи**. Вибираємо вид навантаження (**Розподілене**), напрям дії навантаження (**Z**) і його значення (**2.1**). Діалогове вікно приймає вид, представлений на рис. 5.10. Натискаємо кнопку **ОК**. Далі на схемі відмічаємо всі елементи. Для цього натискаємо в графічному полі вікна програми на праву кнопку миші і натискаємо кнопку **Інвертувати вибір елементів** в діалоговому вікні **Вибір вузлів та елементів**. Завершуємо роботу з вікном натисканням **ОК**. Потім активізуємо кнопку

**Підтвердження**  інструментальної панелі.

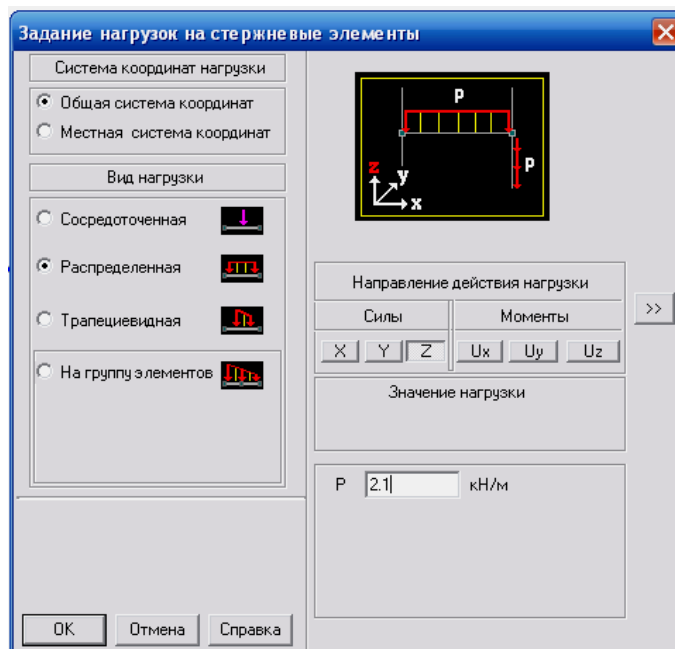







Рис. 5.10

Для збереження створеного завантаження в проєкті натискаємо кнопку **Зберегти/Додати завантаження**  інструментальної панелі. Далі в діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження**, номер завантаження **1**, натискаємо кнопку **ОК**. Відповідаємо **Так** на питання **Перейти до формування наступного завантаження?**

2. Завантаження власною вагою здійснюємо натисканням кнопки **Власна вага** , розміщеній в закладці **Завантаження**.

Натискаємо кнопку **Зберегти/Додати завантаження**  інструментальної панелі і переходимо до запису створеного завантаження в проєкт. В діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Власна вага**, номер завантаження **2**, натискаємо кнопку **ОК**. Відповідаємо **Ні** на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** у вікні повідомлення **SCAD**.

Візуальний контроль навантажень виконуємо за допомогою кнопок панелі **Фільтри відображення – Розподілені навантаження** , **Значення навантажень**  (рис. 5.11).

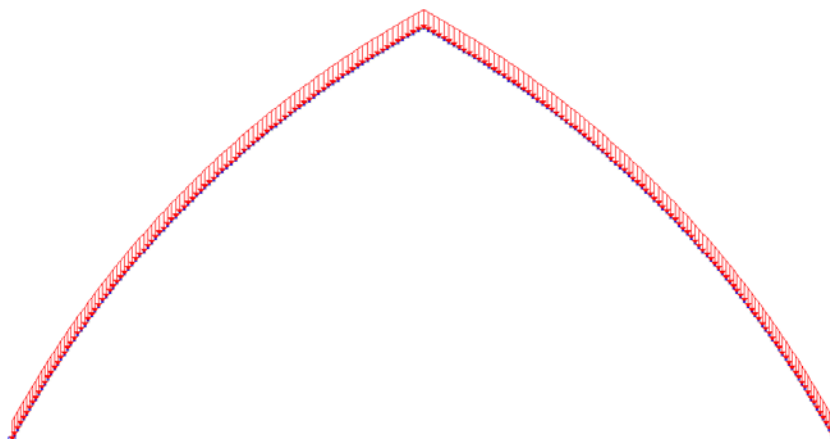



Рис. 5.11

#### *Задавання розрахункових сполучень зусиль*

В вкладці **Управління** натискаємо кнопку **Війти в екран управління проектом** . Розкриваємо зміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натискаючи знак «+») розділу **Вихідні дані** дерева проекту. Активізуємо пункт **Розрахункові сполучення зусиль** і в колонці **Тип** таблиці **Завантаження** для корисного навантаження зі списку обираємо тип **Тимчасове довготривале діюче**. Завершуємо роботу кнопкою **ОК**.

#### Статичний розрахунок

Для виконання статичного розрахунку входимо в дерево проекту за допомогою розділу **Управління** і кнопки **Війти в екран управління проектом**. Активізуємо пункт **Лінійний розрахунок** дерева проекту. В діалоговому вікні **Параметри розрахунку** натискаємо **ОК**.

На екрані з'явиться питання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** У відповідь натискаємо **Так**.

Якщо у вікні **Протокол виконання розрахунку** (рис. 5.12) підтверджується правильність виконання дій (**Завдання виконано**) і нема зауважень (**Геометрично змінювана система**), то натиснувши кнопку **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів.

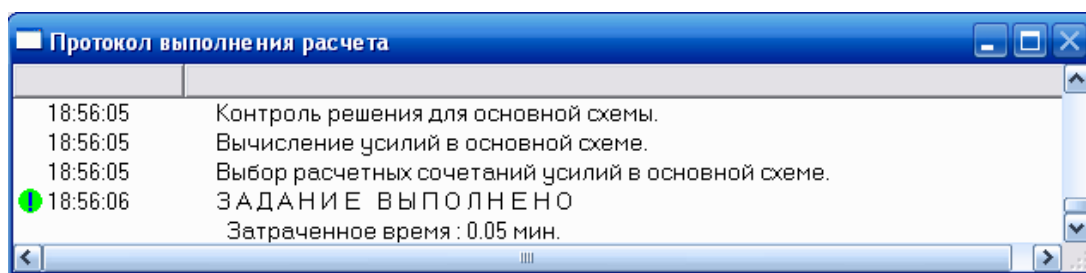


Рис. 5.12

#### Перегляд результатів розрахунку

В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в позицію **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора, де відображаються результати НДС рами: деформована схема, епюри зусиль, тощо.

Відобразимо деформовану схему рами на фоні недеформованої. Для цього в розділі **Деформація** натискаємо кнопку **Сумісне відображення вихідної і деформованої схеми**



в результаті чого на екрані отримуємо наступне зображення (рис. 5.13):

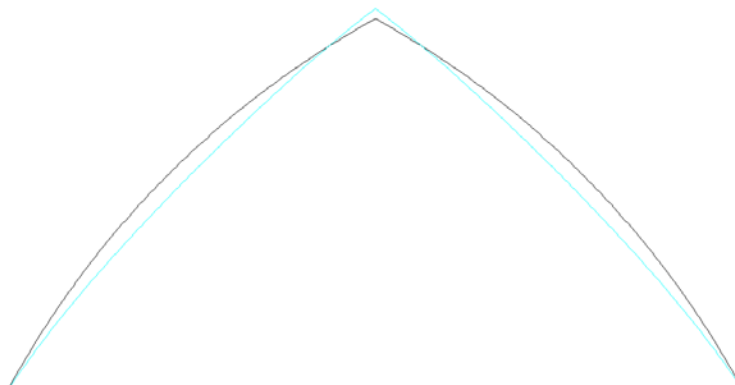


Рис. 5.13

В вкладці **Епюри зусиль** із списку **Вибір виду зусиль** вибираємо  **$M$** , натискаємо кнопку



**Епюри зусиль** інструментальної панелі і отримаємо епюру згинальних моментів  **$M$**  (рис. 5.14). Вид епюри  **$N$**  показано на рис. 5.15. Відображення внутрішніх зусиль можливо і кольоровою індикацією. Для цього натискаємо кнопку **Кольорова індикація позитивних**



**значень зусиль** або кнопку **Кольорова індикація негативних значень зусиль**. Аналогічно можна вивести на екран епюру  **$Q$** , вибравши її зі списку **Вибір виду зусилля** (рис. 5.16).

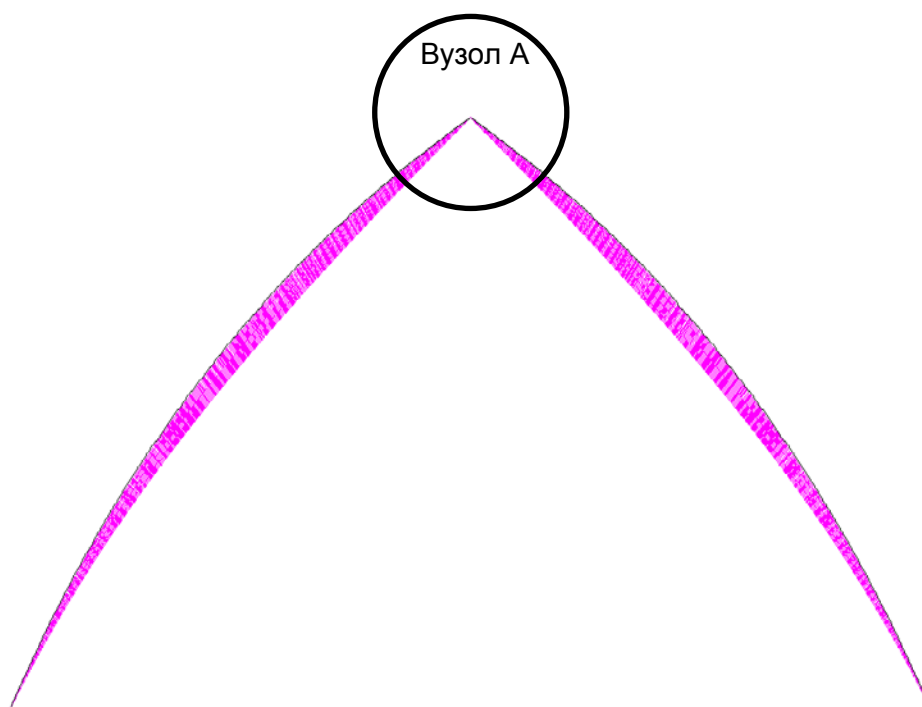


Рис. 5.14

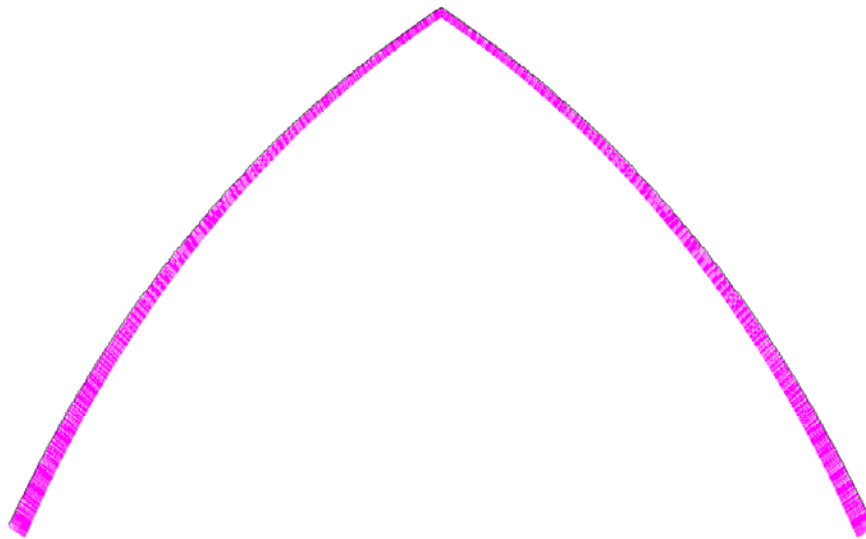
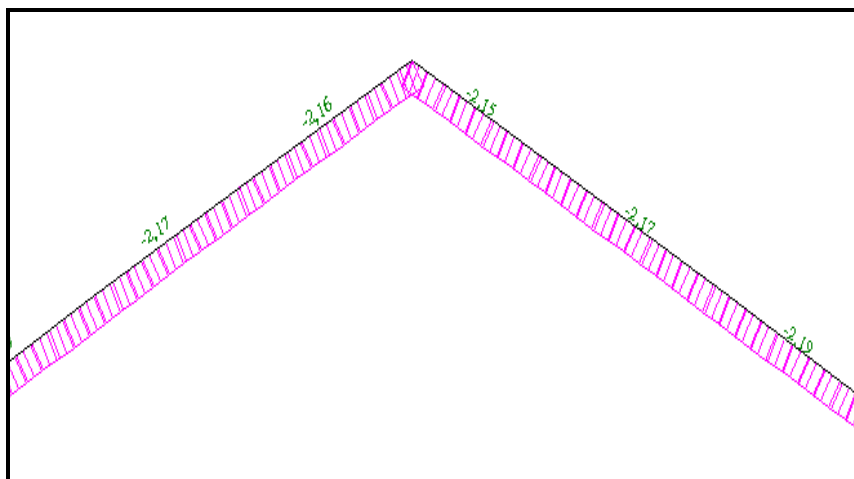


Рис. 5.15



Вузол А

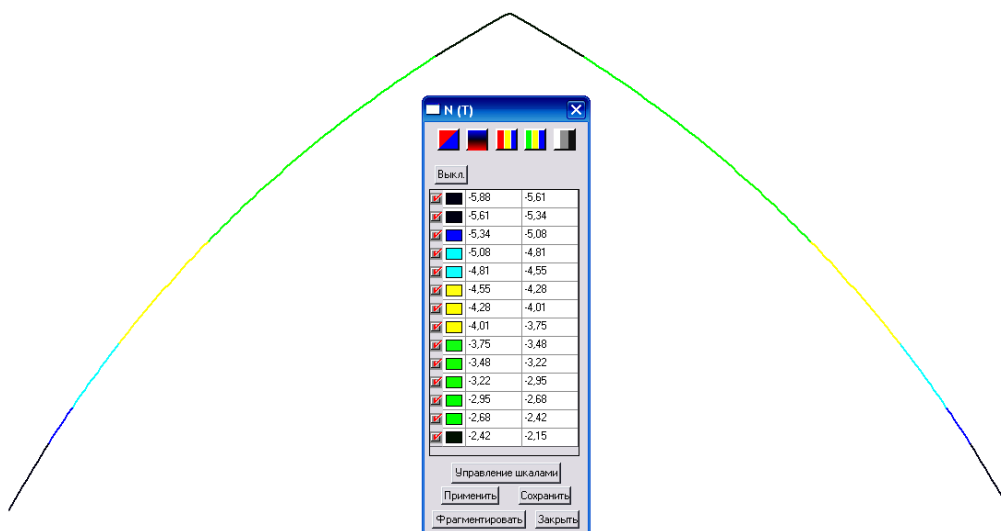



Рис. 5.16

Відмітимо, що епюри та значення внутрішніх зусиль в елементах отримані відносно відповідних місцевих координатних систем  $X_1 Y_1 Z_1$ .

### Підготовка результатів для наступного експорту

Для збереження розрахункової схеми рами необхідно на вкладці **Деформації** або на

вкладці **Епюри зусиль** активізувати кнопку **Відображення розрахункової схеми** , при цьому вона не буде відображатися повністю до тих пір, поки не будуть активізовані відповідні

кнопки панелі **Фільтри відображень**: **Номери вузлів** , **Номери елементів** ,

**Номери типів жорсткості** , **В'язі** , **Шарніри** , **Вузли** , **Вузлові**

**навантаження** , **Розподілені навантаження** , **Зосереджені навантаження** 

тощо. Далі переходимо на вкладку **Управління** і натискаємо на кнопку **Збереження образу екрану**, де в запропонованому вікні **Текст коментарів** вводимо **Розрахункова схема**, а потім

в діалоговому вікні **Збереження образу екрану**  ім'я файлу.

Подібні операції можна здійснювати для всіх необхідних графічних даних (епюр внутрішніх зусиль, вихідної і деформованої схем рами).

Переходимо на закладку **Управління** і активізуємо **Увійти в екран управління проектом**. В розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Документування**, в результаті чого з'явиться діалогове вікно **Виведення результатів**.

Кожній кнопці керування відповідає діалогове вікно для налаштування таблиць окремого виду. Всі вікна, окрім налаштування таблиць вихідних даних, мають однаковий набір елементів керування і єдині правила роботи. Розглянемо роботу з вікнами на прикладі вікна настроювання таблиць з вихідними даними.

Ставимо галочку напроти надпису **Вся схема**, активізуючи відображення всіх вузлів і елементів схеми.


Далі в лівій частині вікна відповідними кнопками керування вказуємо відображувану інформацію детально по кожному пункту. Наприклад, при натисканні на кнопку **Вихідні дані** відмічаємо пункти: **Жорсткість**, **Величини навантажень**. Далі натискаємо кнопку **Ілюстрації** і додаємо в правому полі вікна необхідну схему, використовуючи, по мірі необхідності, можливість перегляду схем які додаються. Так, наприклад, в розділі **Вихідні дані** ми включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділі **Переміщення** – вихідну і деформовану схеми арки, а в розділі **Зусилля і напруження** – епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення** і **Зусилля і напруження** необхідно відмітити пункт **Вся схема**. Закінчуємо роботу з вікнами натисканням кнопки **ОК**.

### Експорт результатів розрахунку в редактор MSWord

Експорт даних звіту MSWord є можливим при натисканні кнопки **Створити документ MSWord** діалогового вікна **Виведення результатів**, при цьому із запропонованих версій **MSWord 7.0** і **MSWord 97** обираємо **MSWord 97**.

Наступна дія – вказати ім'я файлу результатів.

### Вихід із обчислювального комплексу

Для виходу з обчислювального комплексу натискаємо на кнопку **Вихід із SCAD**  і відповідаємо **Так** на запитання **Закінчити роботу?**

#### **Контрольні питання**

1. Назвіть види арок.
2. Назвіть основні конструкції арок.
3. Як з'єднуються арки у вузлах?
4. Як створити арку в SCAD?
5. Навіщо створювати шарнір у вершині арки?
6. Яким чином виконати циліндричне приєднання кінця стержня до вузла?
7. Назвіть фізичні, механічні та технологічні властивості деревини.



## 5.2. Купол ребристо-кільцевий

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, геометрична схема і основні розміри купола представлені на рис.5.17, 5.18.

- купол являє собою поверхню обертання з віссю, що проходить через центри верхнього та нижнього кілець;
- ребра-арки виконані з дерева, кільця і зв'язки по поверхні покриття виконані з металу;
- ребра-арки мають однаковий по всій довжині прямокутний переріз і орієнтацію місцевих координатних осей  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$ ;
- кільця і зв'язки по поверхні покриття мають переріз з прокатних профілів;
- ребра-арки закріплюються до опорної горизонтальної поверхні сферичними шарнірно нерухомими опорами;
- у всіх проміжних вузлах елементи ребер купола жорстко з'єднуються між собою;
- на кожну арку діє рівномірно розподілене навантаження від власної ваги несучої конструкції і трикутне від ваги покриття.

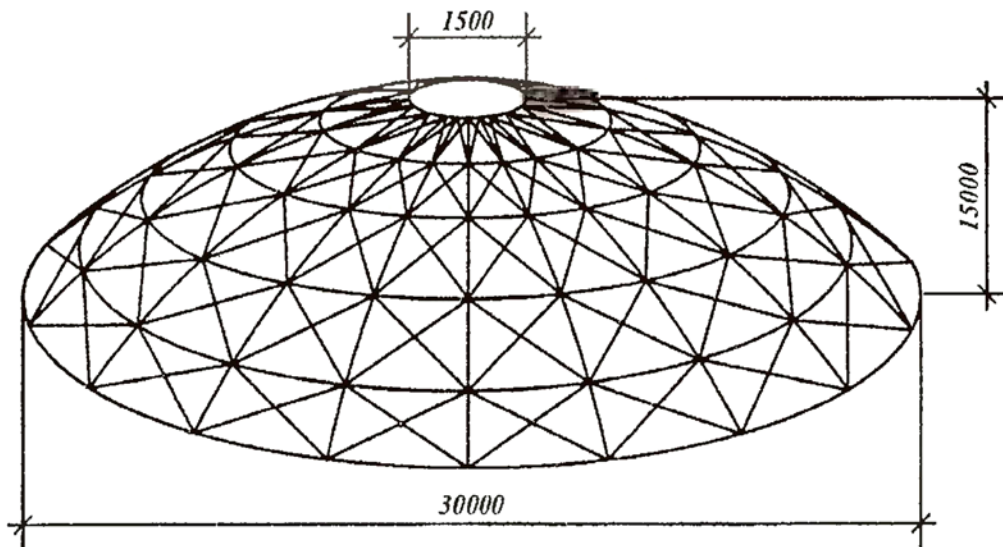


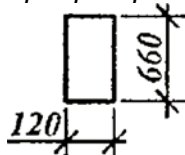
Рис. 5.17

### Матеріал:

- ребра-арки: *деревина (модрина: об'ємна вага -  $6.5 \text{ кН} / \text{м}^3$ , модуль пружності -  $1e + 07 \text{ кН} / \text{м}^2$ , коефіцієнт Пуассона -  $0,5$ )*
- верхнє кільце: *метал*;
- проміжні кільця: *метал*;
- поперечні зв'язки: *метал*;

### Переріз:

- ребра-арки:



- верхнє кільце: *швелер по ГОСТ 8240-89 - (30 П)*
- проміжні кільця; *квадратні труби по ТУ 36-2287-80 - (80x3)*
- поперечні зв'язки: *квадратні труби по ТУ 36-2287-80 - (80x3)*

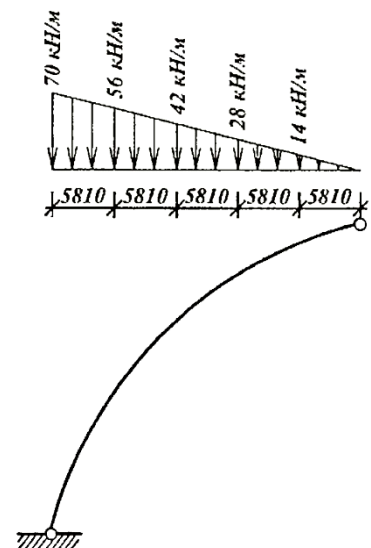


Рис. 5.18

### Завдання

Для запропонованої схеми навантаженого купола за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задачі:

- сформувані її розрахункову просторову стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) та здійснити експорт.

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ


#### Запуск обчислювального комплексу

Для запуску обчислювального комплексу натиснемо на піктограму **SCAD**.

#### Створення нового проекту

Створюємо новий проект, обравши тип схеми 5 - **Система загального вигляду**.

#### Побудова просторової стержневої моделі

Розкриваємо вкладку **Схема** і натискаємо **Створення поверхні обертання** . Задаємо параметри поверхні в діалоговому вікні **Створення поверхні обертання**. Для цього в розділі **Вид поверхні** активізуємо пункт **Сфера**, в розділі **Елементи** - пункт **Стержни**, а в розділі **Розбивка** - крайню праву кнопку. У розділі **Геометричні характеристики** вводимо геометричні характеристики купола: Радіус [R] (30), Радіус [r] (1.5), Висота [H] (15), Кількість елементів [nH] (5), Кількість елементів [nR] (16). Кут обертання (360). Діалогове вікно приймає вигляд, поданий на рис. 5.19.

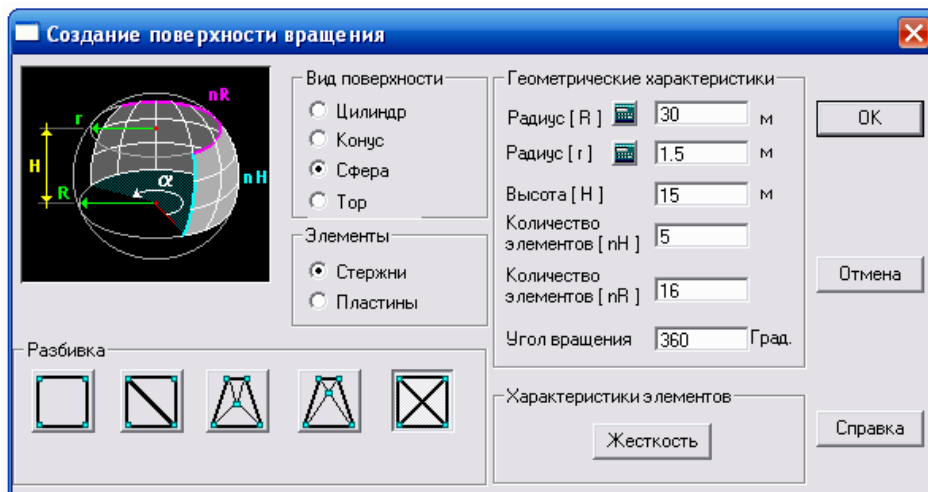


Рис. 5.18

На етапі генерації призначаємо жорсткості елементів схеми. Натискаємо кнопку **Жорсткість** в розділі **Характеристики елементів**. У діалоговому вікні **Жорсткості стержневих елементів** у вкладці **Профілі металопрокату** включаємо перемикач **Профілі металопрокату** і вибираємо **Труби електрозварні прямошовні по ГОСТ 10704-91 > 83x5** у розділі **Повний каталог профілів ГОСТ..>** (вміст каталогу розкриваємо натисканням на символ «+»). Зі спадаючого списку розділу **Матеріал** вибираємо **Сталь якісна** і натискаємо **ОК**.

Натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна **Створення поверхні обертання** і отримуємо на екрані генеровану програмою схему купола (рис. 5.20).

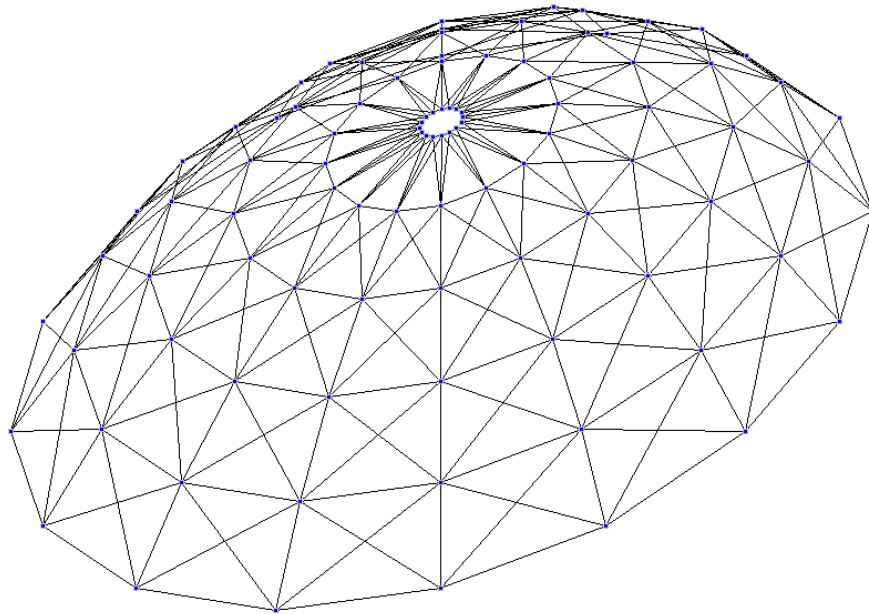



Рис. 5.20

#### Задавання жорсткостей елементів

Формуємо другий тип жорсткості стержнів. Натискаємо кнопку **Призначення жорсткостей**

стержням  у вкладці **Призначення**. Встановлюємо перемикач **Параметричні перерізи** у вікні **Жорсткості стержневих елементів** і переходимо до вкладки **Параметричні перерізи**, в якій заповнюємо характеристики матеріалу: **об'ємна вага (6.5)**, **модуль пружності (1e+07)**, **коефіцієнт Пуассона (0,5)**. Далі задаємо переріз (суцільний прямокутний) і його розміри (b=12 см; h=66 см). Для перевірки введених величин активізуємо кнопку **Контроль**. Завершуємо роботу з вікном натисненням кнопки **ОК**.

Другий тип жорсткості призначаємо ребрам-аркам купола, які показані червоною лінією на рис. 5.21.

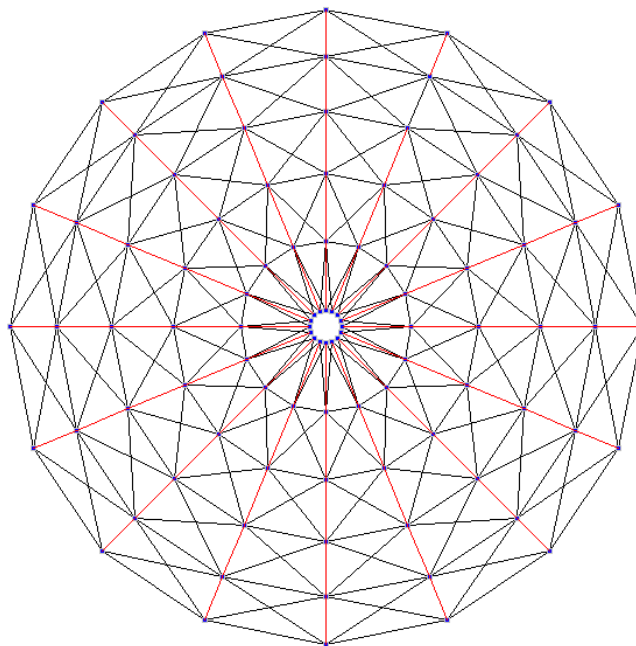







Рис. 5.21

Для їх виділення на схемі використовуємо інструменти панелі **Візуалізація** – обертання навколо осей X, Y, Z і проєкція на площини XoZ, XoY, YoZ. Відзначивши курсором всі елементи, натискаємо **Підтвердження**  інструментальній панелі.

Формуємо третій тип жорсткості. Натискаємо **Призначення жорсткостей стержням**  у вкладці **Призначення**. У вікні **Жорсткості стержневих елементів** встановлюємо перемикач **Профілі металопрокату** і вибираємо **Швелер з паралельними гранями полиць по ГОСТ 8240-89> 30П** в розділі **Повний каталог профілів ГОСТ..>**(вміст каталогу розкриваємо натисканням на символ «+»). Зі списку розділу **Матеріал** вибираємо **Сталь якісна** і натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна **Жорсткості стержневих елементів**. Сформований ний третій тип жорсткості призначаємо елементам верхнього кільця. Для цього виділяємо їх на схемі курсором і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальній панелі.

Для формування четвертого типу жорсткості натискаємо кнопку **Призначення жорсткостей стержнів**  у вкладці **Призначення**. У вікні **Жорсткості стержневих елементів** встановлюємо перемикач **Профілі металопрокату**. У розділі **Повний каталог профілів ГОСТ..>** вкладки **Профілі металопрокату** вибираємо **Труби електрозварні прямошовні по ГОСТ 10704-91> 219x5** (вміст каталогу розкриваємо натисканням на символ «+»). Зі списку розділу **Матеріал** вибираємо **Сталь якісна** і натискаємо кнопку **ОК**. Виділяємо на схемі елементи нижнього кільця і призначаємо їм четвертий тип жорсткості, натискаючи кнопку підтвердження  інструментальній панелі.

#### Задавання шарнірного примикання поперечних зв'язків

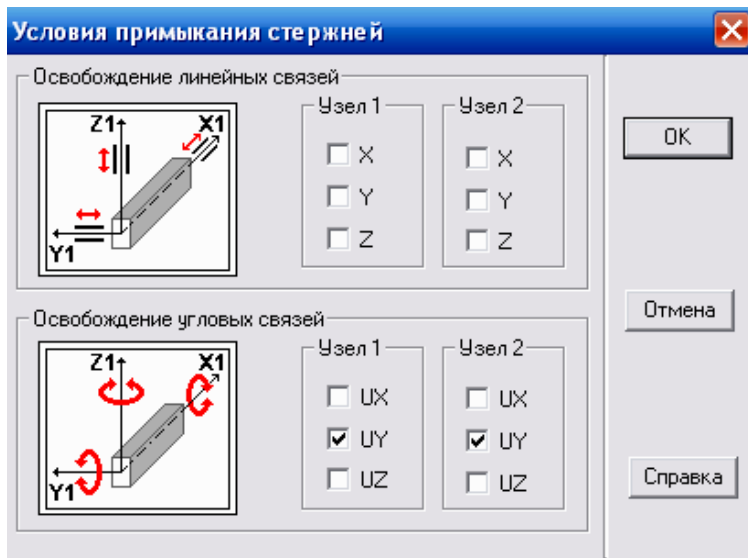




Рис. 5.22

Кнопкою **Установка шарнірів**  у вкладці **Призначення** викликаємо діалогове вікно **Умови примикання стержнів** (рис. 5.22). Для вивільнення кутових зв'язків (щодо місцевої координатної осі Y1) стержнів утворюючих поперечні в'язі необхідно в розділі **Вивільнення кутових в'язей** відзначити галочками пункти **UY** в підрозділах **Вузол 1** або **Вузол 2**.



Відзначивши зазначені пункти натискаємо кнопку **ОК** діалогового вікна. Далі виділяємо стержні, що утворюють поперечні зв'язки крім стержнів, що утворюють верхнє і нижнє кільця і натискаємо кнопку

**Підтвердження**  інструментальній панелі.

#### Задавання шарнірного примикання ребер-арок до верхнього і нижнього кільця



Кнопкою **Установка шарнірів**  під вкладкою **Призначення** викликаємо діалогове вікно **Умови примикання стержнів**. Для звільнення кутових зв'язків (щодо місцевої координатної осі Y1) необхідно в розділі **Звільнення кутових зв'язків** відзначити галочкою пункт **UY** в підрозділі **Вузол 2** для стержнів ребер-арок, що примикають до верхнього кільця і в підрозділі **Вузол 1** для стержнів ребер-арок, що примикають до нижнього кільця.


### Встановлення зв'язків в опорних вузлах купола


Кнопкою **Встановлення в'язей у вузлах**  у вкладці **Призначення** інструментальної панелі викликаємо діалогове вікно **Зв'язки**. У режимі **Вид операції – Повна заміна** розділу **Напрямки зв'язків** натискаємо кнопки **X, Y, Z** і натискаємо кнопку **ОК**. Позначаємо курсором на схемі вузли з номерами 1 - 16 і натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі. В результаті в обраних вузлах будуть встановлені сферичні шарнірно-нерухомі опори.


### Задавання завантажень купола


1. Завантаження трикутним навантаженням від ваги покриття (рис. 5.18).

У вкладці завантаження кнопкою **Навантаження на стержні**  викликаємо діалогове вікно **Задавання навантажень на стержневі елементи**. Вибираємо вид навантаження (**Трапецієподібний**) і напрямок дії навантаження (**Z**). В поля значення навантаження послідовно вводимо для P1 – (**70**), для A1 – (**0**), для P2 – (**56**) і для A2 – (**5,81**) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержні 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальній панелі.

Далі, в діалоговому вікні **Задавання навантажень на стержневі елементи** вибираємо вид навантаження (**Трапецієподібний**) і напрямок дії навантаження (**Z**). В поля значення навантаження послідовно вводимо для P1 – (**56**), для A1 – (**0**), для P2 – (**42**) і для A2 – (**5,81**) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержні: 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70, 73, 76, 79, 82, 85, 88, 91, 94 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.


Аналогічно, в діалоговому вікні **Задавання навантажень на стержневі елементи** вибираємо вид навантаження (**Трапецієподібний**), напрямок дії навантаження (**Z**). В поля значення навантаження послідовно вводимо для P1 – (**42**), для A1 – (**0**), для P2 – (**28**) і для A2 - (**5,81**) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержні: 65, 67, 69, 71, 73, 75, 77, 79, 81, 83, 85, 87, 89, 91, 93, 95 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.

Аналогічно, в діалоговому вікні **Задавання навантажень на стержневі елементи** вибираємо вид навантаження (**Трапецієподібний**), напрямок дії навантаження (**Z**). У поля значення навантаження послідовно вводимо для P1 - (**28**), для A1 - (**0**), для P2 - (**14**) і для A2 - (**5,81**) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержні: 97, 100, 103, 106, 109, 112, 115, 118, 121, 124, 127, 130, 133, 136, 139, 142 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальної панелі.


Аналогічно, в діалоговому вікні **Задавання навантажень на стержневі елементи** вибираємо вид навантаження (**Трапецієподібний**), напрямок дії навантаження (**Z**). В поля значення навантаження послідовно вводимо для P1 - (**14**), для A1 - (**0**), для P2 - (**0**) і для A2 - (**5,81**) і натискаємо кнопку **ОК**. На схемі відмічаємо стержні: 145, 148, 151, 154, 157, 160, 163, 166, 169, 172, 175, 178, 181, 184, 187, 190 і натискаємо кнопку **Підтвердження**  інструментальній панелі.

Візуальний контроль правильності завантаженість виконуємо за допомогою кнопок панелі

**Фільтри відображення: Розподілені навантаження**  і **Значення навантажень** .

Для запису створеного завантаження в проект натискаємо кнопку **Зберегти/Додати завантаження**  інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Корисне навантаження**, номер завантаження **1**, натискаємо **ОК** і на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Так**.

2. Завантаження власною вагою. Для задавання завантаження власною вагою натискаємо

**Власна вага** .

Візуальний контроль правильності завантажень виконуємо за допомогою кнопок панелі

**Фільтри відображення: Розподілені навантаження**  і **Значення навантажень** .

Записуємо створене завантаження в проект, активізуючи **Зберегти/Додати завантаження**



інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Зберегти завантаження** вводимо ім'я завантаження **Власна вага**, номер завантаження **2**, натискаємо **ОК** і на питання **Перейти до формування наступного завантаження?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Ні**.

#### *Задавання розрахункових сполучень зусиль*



У вкладці **Керування** натискаємо **Ввійти в екран управління проектом**. Розкриваємо вміст пункту **Спеціальні вихідні дані** (натисканням на знак «+») розділу **Вихідні дані** дерева проекту. Активізуємо пункт **Розрахункові сполучення зусиль** і в колонці **Тип таблиці Завантаження** для корисного навантаження зі списку вибираємо **Тимчасове довготривале діюче**. Закінчуємо роботу з вікном натисненням **ОК**.

#### Статичний розрахунок

Активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту. У діалоговому вікні **Параметри розрахунку** натискаємо кнопку **ОК**.


На запитання **Проект був модифікований. Зберегти зміни?** вікна повідомлення **SCAD** відповідаємо **Так**.

Після закінчення розрахунку переглядаємо вікно **Протокол виконання розрахунку**. За умови правильності виконання (**Завдання виконано**) і відсутності зауважень (**Геометрично змінювана система**) активізацією кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу отриманих результатів.

#### Перегляд результатів розрахунку

У розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Графічний аналіз** і активізуємо вікно постпроцесора, де відображаються результати НДС купола: деформована схема, епюри зусиль тощо.

Переглянемо деформовану схему купола на фоні недеформованої. У вкладці **Деформації**

натискаємо **Спільне відображення вихідної і деформованої схеми** . В результаті чого на екрані отримуємо зображення, представлене на рис. 5.23.

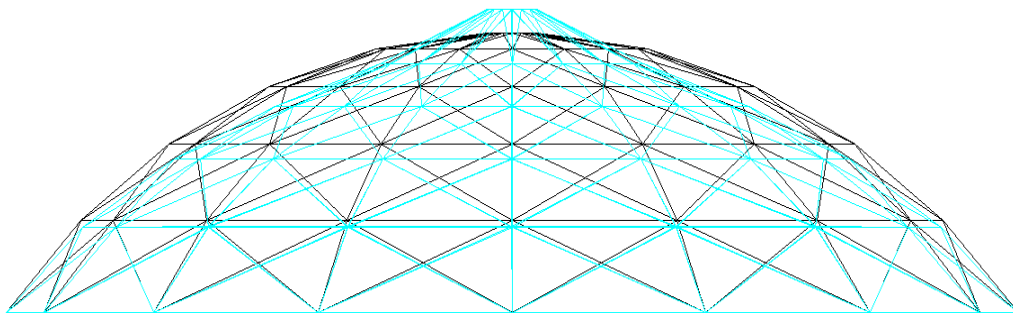


Рис. 5.23

Значення показаних деформацій наведені на рис. 5.24.

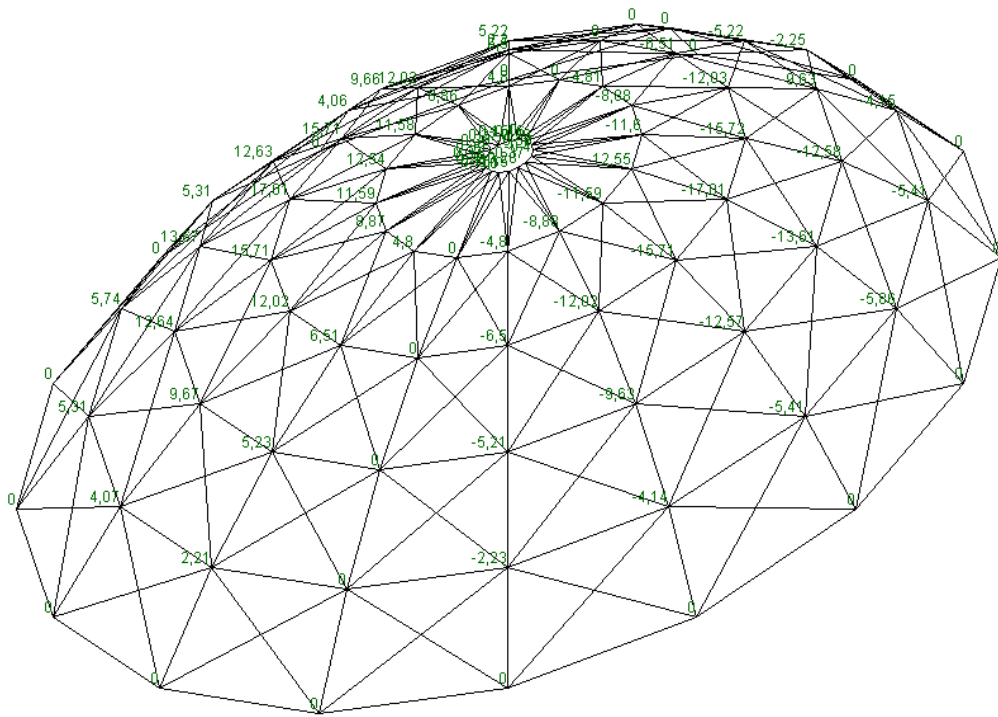





Рис. 5.24

Для отримання епюр згинальних моментів в стержнях купола стосовно відповідних місцевих координатних осей стержнів (наприклад, осей  $Y_1$ ) у вкладці **Епюри зусиль** зі списку

**Вибір виду зусилля** вибираємо позицію **Му** і натискаємо кнопку **Епюри зусиль**  інструментальної панелі (рис. 5.25). Натискаючи кнопку **Колірна індикація позитивних**

**значень зусиль**  (Або **Колірна індикація негативних значень зусиль** ) , Активізуємо вікно **Му**, що дає можливість приблизно визначити максимальні значення моментів в стержнях. Епюра **N** наведена на рис. 5.26.

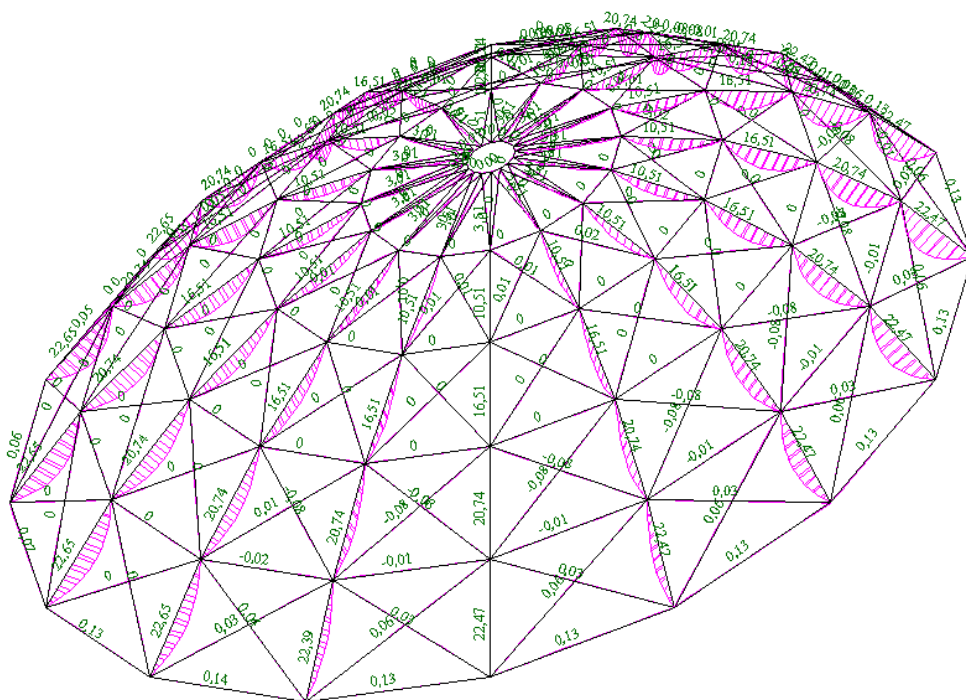


Рис. 5.25

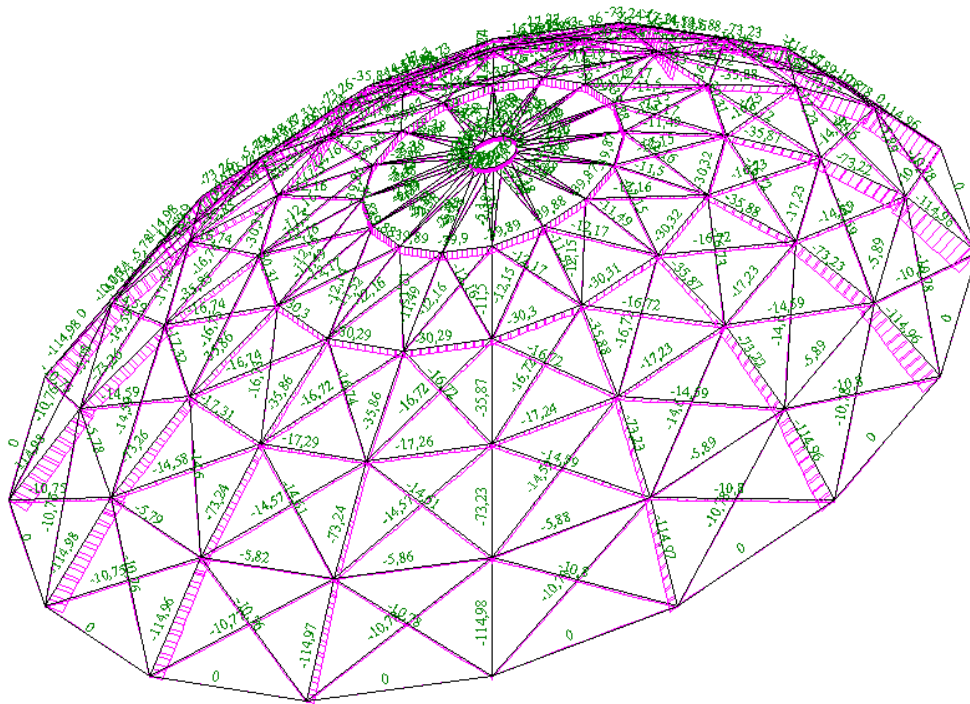






Рис. 5.26


### Перевірка несучої здатності сталевих перерізів

#### Установка параметрів

Заходимо до вкладки **Постпроцесори**, натискаємо кнопку **Перевірка перерізів з металопрокату** . У відкритому наборі кнопок – **Установка параметрів**  у діалоговому вікні **Параметри налаштування** в розділі **Марки сталі** зі списку вибираємо **C255** і натискаємо кнопку **ОК**.

#### Задавання груп конструктивних елементів

Натискаємо **Призначення груп конструктивних елементів**  і виділяємо елементи нижнього кільця за допомогою кнопки **Проекція на площину ХоУ**  панелі **Візуалізація**.

Далі активізуємо кнопку **Підтвердження**  інструментальній панелі. У діалоговому вікні **Групи конструктивних елементів для перевірки перерізів** в текстове поле **Ім'я групи елементів** розділу **Групи** вписуємо назву групи **Нижнє кільце**. У розділі **Коефіцієнт розрахункової довжини** задаємо коефіцієнти **У площині ХоZ (1)**, **У площині ХоУ (1)**. Вікно буде мати наступний вигляд (рис. 5.27):



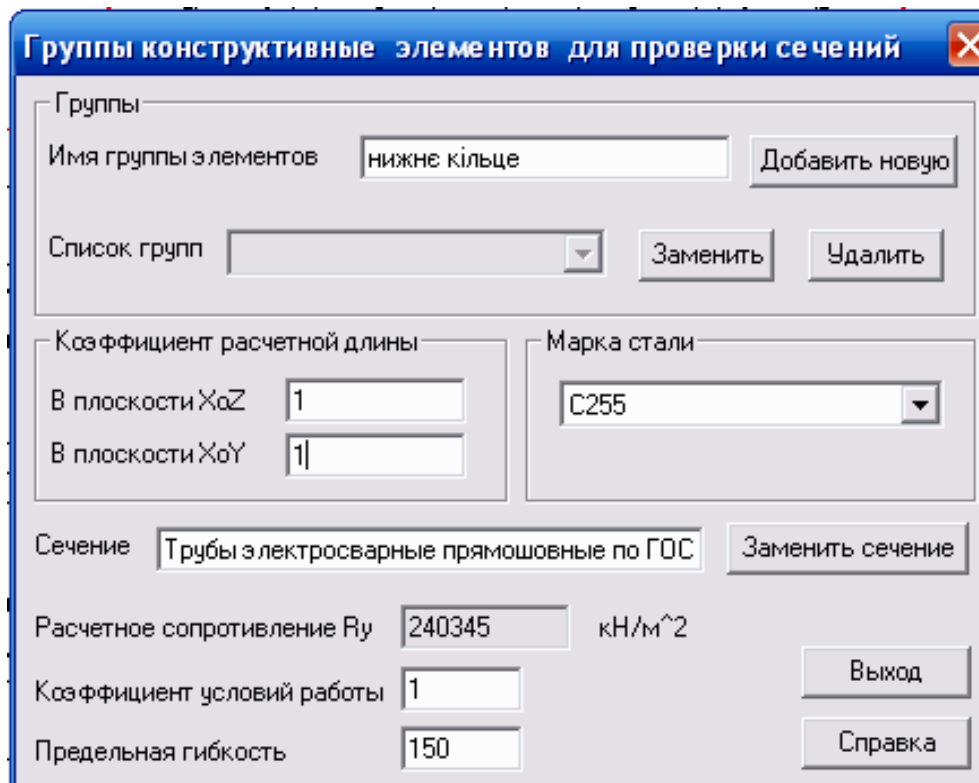




Рис. 5.27

Далі натискаємо кнопку **Додати нову**, а потім – **Вихід**.


Далі виділяємо елементи верхнього кільця. Знову натискаємо **Підтвердження**  інструментальної панелі і в діалоговому вікні **Групи конструктивних елементів для перевірки перерізів** задаємо ім'я групи **Верхнє кільце**. Потім активізуємо кнопку **Додати нову** і натискаємо на кнопку **Вихід**.

Так само ж об'єднуємо проміжні кільця і сітку розкосів в однойменні групи.

#### *Розрахунок*

Після натискання кнопки **Розрахунок**  програма виконує перевірку несучої здатності конструктивних елементів і/або груп конструктивних елементів.

#### *Відображення результатів розрахунку*



На схемі можна відобразити і результати перевірки по кожному з факторів, що визначають несучу здатність. Для цього необхідно вибрати зі списку найменування необхідного фактора і натиснути кнопку **Візуалізація результатів на схемі** . Якщо фактор не обраний, то результати відображаються за значенням критичного (що має максимальне значення) чинника для кожного конструктивного елемента і групи конструктивних елементів.


Конструктивні елементи відображаються на схемі двома кольорами - зеленим, якщо несуча здатність достатня, або червоним - в іншому випадку. Якщо конструктивний елемент або група конструктивних елементів входять до групи уніфікації, то вони будуть відображатися червоним кольором, якщо хоча б один з об'єктів цієї групи не пройшов перевірку за несучою здатністю.


#### *Підбір перерізів*


Натискаємо кнопку **Підбір перерізів** . У діалоговому вікні, **Результати підбору перерізів** активізуємо пункт **Застосувати підібрані перерізи (потрібний перерахунок)**. Далі натискаємо **Вихід** і на питання у вікні повідомлення **SCAD Застосувати змінені Вами**

перерізи? (Потрібний повторний розрахунок) відповідаємо Так. Активізуємо пункт **Лінійний** розділу **Розрахунок** дерева проекту та у вікні **Параметри розрахунку** натискаємо **ОК**. На запитання вікна повідомлення **SCAD – Проект був модифікований. Зберегти зміни?** Натискаємо **Так**. Далі натисненням кнопки **Вихід** переходимо в дерево проекту для аналізу результатів розрахунку. Активізуємо пункт **Графічний аналіз**. Заходимо до вкладки


**Постпроцесори**, натискаємо **Перевірка перерізів з металопрокату**  і далі - **Розрахунок** . Аналізуємо результати перевірки підібраних перерізів за допомогою кнопки **Візуалізація**


**результатів на схемі** . Якщо не всі з підібраних перерізів мають достатню несучу здатність (ці елементи будуть виділені червоним кольором), необхідно знову провести операцію підбору перерізів.

Для цього знову активізуємо **Підбір перерізів**  і виконуємо дії аналогічні вищевикладеним. Якщо в результаті перерахунків і подальшого натискання на кнопку

**Візуалізація результатів на схемі**  всі стержні будуть пофарбовані в зелений колір, можна зробити висновок, що вони мають достатню несучу здатність.


### **Підготовка результатів розрахунку для подальшого експорту**


Для збереження розрахункової схеми рами у вкладці **Деформації** або у вкладці **Епюри зусиль** (на вибір користувача) активізуємо кнопку **Відображення розрахункової схеми** ,

при цьому розрахункова схема не буде відображена повністю до тих пір, поки не будуть активізовані відповідні кнопки панелі **Фільтри відображення: Номери вузлів** 


**Номери елементів** , **Номери типів жорсткості** , **Зв'язки** ,

**Шарніри** , **Вузли** ,

**Вузлові навантаження** , **Розподілені навантаження** , **Зосереджені навантаження** 

тощо. Після найбільш повного відображення на екрані розрахункової схеми переходимо до вкладки **Управління** та натискаємо на кнопку **Збереження образу екрану** , де у вікні **Текст коментарів** вводимо **Розрахункова схема**, а потім у діалоговому вікні **Збереження образу екрану** – ім'я файлу.

Подібні операції здійснюємо для усіх необхідних графічних даних (епюр внутрішніх зусиль, первинної і деформованої схем купола).

Далі переходимо до вкладки **Керування** і натискаємо **Увійти в екран управління проектом** . У розділі **Результати** дерева проекту встановлюємо курсор в пункт **Документування**, в результаті чого з'являється діалогове вікно **Виведення результатів**.

Кожній кнопці керування відповідає діалогове вікно для налаштування таблиць певного виду. Всі вікна, крім вікна налаштування таблиць вихідних даних, мають однаковий набір керуючих елементів і єдині правила роботи. Розглянемо роботу з вікнами на прикладі вікна налаштування таблиць з вихідними даними.

Для початку ставимо галочку навпроти напису **Вся схема**, яка активізує відображення всіх вузлів і елементів схеми.


У лівій частині вікна активізацією відповідних керуючих кнопок вказуємо інформацію, яку потрібно відобразити. Наприклад, при натисканні кнопки **Вихідні дані** відзначаємо пункти **Жорсткості**, **Величини навантажень**. Далі натискаємо **Ілюстрації** і додаємо в праве поле вікна необхідну схему, використовуючи, якщо необхідно, можливість перегляду доданих схем. Так, наприклад, в розділ **Вихідні дані** включаємо створену раніше розрахункову схему, в розділ **Переміщення** – вихідну і деформовану схеми купола, а в розділ **Зусилля і навантаження** – епюри внутрішніх зусиль. Перед початком роботи в розділах **Переміщення** та **Зусилля і напруження** необхідно відмітити пункт **Вся схема**. Завершуємо роботу з вікнами натисненням кнопки **ОК**.

### Експорт результатів розрахунку в редактор MS Word

Експорт даних звіту в MS Word виконуємо натисканням кнопки **Створити документ MS Word** діалогового вікна **Виведення результатів**, при цьому вибираємо редактор **MS Word 97** з пропонованих версій **MS Word 7.0** і **MS Word 97**.

На завершення – вказуємо ім'я файлу результатів (на розсуд студента).

### Вихід з обчислювального комплексу

Для виходу з обчислювального комплексу натискаємо **Вихід з SCAD**  і відповідаємо **Так** на запитання **Завершити роботу?** у вікні повідомлення SCAD.

Контрольні питання

1. Які види багатопрогенових покриттів ви знаєте?
2. Назвіть форми та типи купольних конструкцій.
3. Назвіть види куполів.
4. З яких елементів складається купол?
5. Чим відрізняється купол від склепіння?
6. Як виконують з'єднання вузлів купола?
7. Який обрис купола найбільш доцільний?
8. Як створити купол за допомогою поверхні обертання?
9. Як виконати перевірку перерізів з металопрокату?
10. Як виконують підбір перерізів?

### **Частина III. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ З НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ**

#### **6. Склад і оформлення розрахунково-графічних робіт в програмному комплексі SCAD**

Звіт необхідно виконувати у строк встановлений викладачем та оформлювати відповідно до чинних документів, зокрема згідно з «ДСТУ 3008-95 Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

Звіт повинен містити титульний аркуш (див. рис. 6.1) з зазначенням предмету, теми роботи, прізвища студента та викладача.

Структурно звіт повинен складатися з наступних елементів:

- змісту;
- вступу;
- розділів;
- висновків;
- використаної літератури;
- додатків (за необхідності).

**ВСТУП.** Повинен містити головну сутність роботи, її особливості, практичну цінність.

**РОЗДІЛИ.** Розділи можуть поділятися на пункти або на підрозділи і пункти. Кожен пункт або підрозділ повинен мати номер арабськими цифрами і короткий та чіткий заголовок. Пункти, якщо це необхідно, поділяють на підпункти. В цьому разі номер рубрики складається із номера старшої і номерів молодших рубрик, розділених крапками (наприклад: 2.1.5). Після тематичної назви рубрики крапка не ставиться.

Текст звіту необхідно ілюструвати рисунками, розрахунковими схемами, графіками, таблицями. Всі вони повинні мати номер і тематичну назву. Для рисунків, схем, графіків номер і тематичну назву розміщують внизу, номер таблиці пишуть над нею з правого боку, а під ним тематичну назву. Якщо для читання таблиці пояснювальну записку слід повернути, то таблицю розміщують так, щоб поворот здійснювався за годинниковою стрілкою.

На використані літературні джерела посилаються шляхом позначення в квадратних дужках номера літературного джерела зі списку літератури, який розміщують в кінці пояснювальної записки.

У звіті необхідно навести розрахункові схеми, з зазначенням усіх розмірів, позначень, завантажень основної системи, жорсткості елементів, протоколи розрахунків.

Результати розрахунків відображають як в табличній так і в графічній формі. В графічній формі наводять результати розрахунку переміщень у вигляді деформованої схеми, обираючи при цьому відповідний масштаб, для візуального сприйняття у вузлах, для пластинчатих і об'ємних елементів наводять ізополі і ізолінії переміщень.

Зусилля в стержнях елементів наводять у вигляді епюр для всієї схеми, а для пластинчатих і об'ємних елементів наводять у вигляді ізополів і ізоліній в указаному діапазоні кольорової шкали з одночасним відображенням числових значень в центрі та кутах елементу.

Необхідно уникати зайвої інформації для недопущення перевантаження звіту.

**ВИСНОВКИ.** Висновки розміщують безпосередньо після викладення суті роботи, починаючи з нової сторінки.

У висновках необхідно проаналізувати роботу конструкції; показати стержні або елементи, які зазнають деформації розтягу, стиску або згину; навести максимальні переміщення системи та порівняти їх з граничними; за отриманими епюрами внутрішніх зусиль з'ясувати слабкі місця елементів конструкцій та запропонувати заходи, якими можна забезпечити надійність та довговічність конструкції.

**ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.** Надається список літературних джерел на які зроблено посилання в тексті роботи.

**ДОДАТКИ.** У додатках поміщають матеріал, який є необхідним для повноти розкриття суті проекту і, включення якого до основної частини не бажане, оскільки може змінити впорядковане й логічне уявлення про проект, або перевантажити обсяги звіту.

До додатків доцільно поміщати епюри, зусилля в стержнях, переміщення та схеми які доповнюють основну частину звіту. Зокрема під час розрахунку конструкцій в яких виконують порівняння декількох матеріалів чи різних за значенням навантажень, результати розрахунку

основного варіанту наводять у звіті, а результати допоміжних варіантів доцільно розміщувати у додатках.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА  
Кафедра промислового і цивільного будівництва

## **ЗВІТ**

**з виконання розрахунково-графічної роботи**

з предмету « \_\_\_\_\_ »

На тему: « \_\_\_\_\_ »

**Виконав:** студент \_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ р.  
(підпис)

**Перевірив:** \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

Чернігів 20 \_\_\_\_

## 7. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Будівельна механіка»

### РГР №1. Розрахунок статично невизначуваної плоскої рами

#### Вихідні дані

Розрахункова схема системи і характер зовнішнього навантаження представлені на рис. 7.1:

- рама прикріплена до «землі» за допомогою чотири опор (жорстких защемлень в точках 1 і 2; шарнірно-нерухомої опори в точці 7; плаваючого защемлення в точці 8);
- стержні 7-3 і 4-8 мають в вузлах 3 і 4 відповідно, шарнірно-циліндричне приєднання до стержнів 1-5 і 2-6, а стержні 5-9, 5-6 і 9-6, 5-6 – такий же характер приєднання одного з кінців кожного стержня до вузлів 5 і 6 відповідно;
- рама завантажена в своїй площині зосередженим моментом  $M$  у вузлі 3, зосередженою вертикальною силою  $P_2$  у вузлі 9, зосередженою горизонтальною силою  $P_1$  в середині стержня 4-6, рівномірно розподіленим навантаженням на стержень 4-8, трапецієвидним горизонтальним навантаженням на стержень 7-3 і трикутним навантаженням на стержень 4-2;
- елементи рами виконані з різних матеріалів;
- вертикальні елементи (стійки) мають прямокутний переріз;
- горизонтальні (ригелі) і похилі (розкоси) елементи мають однаковий переріз з прокатних профілів.

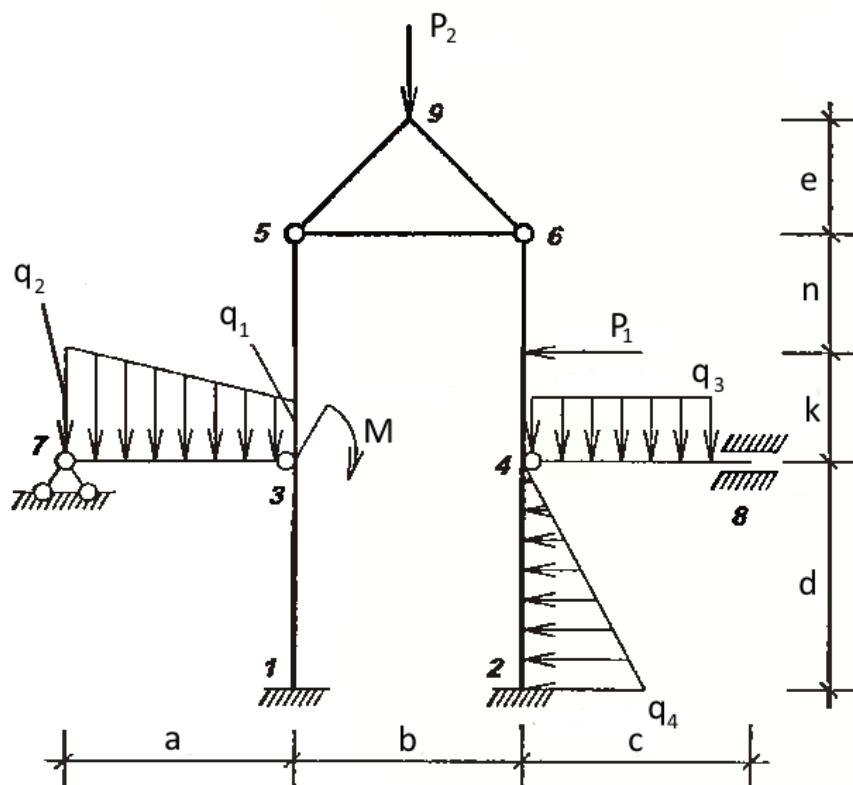
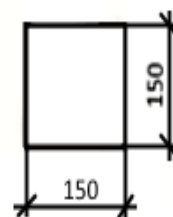


Рисунок 7.1

Матеріал стійки – бетон В30;

Матеріал ригелів і розкосів – сталь якісна;

Переріз стійки:



Ригелі і розкоси – швелер 14П

#### Завдання

Згідно варіанту (табл. 7.1) заданої схеми завантаженої рами (рис. 7.1) за допомогою системи SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

- створити розрахункову плоску стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити напружено-деформований стан моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного напружено-деформованого стану моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і виконати експорт.

Таблиця 7.1

| № варіанту     | a   | b   | c   | d   | k   | n   | e   |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Одиниці виміру | м   |     |     |     |     |     |     |
| 1              | 1   | 1   | 1   | 2   | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 2              | 1   | 2   | 1   | 2,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 3              | 1,5 | 2   | 1,5 | 3   | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 4              | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 1   | 1   | 1   |
| 5              | 1,5 | 1,2 | 1,5 | 2   | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 6              | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,5 | 1   | 1   | 1   |
| 7              | 2   | 2   | 2   | 2,4 | 1   | 1   | 0,8 |
| 8              | 3   | 2   | 3   | 3,5 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 9              | 3   | 3   | 3   | 3,2 | 2   | 2   | 2,5 |
| 10             | 2,5 | 3   | 2,5 | 3   | 2   | 2   | 2   |
| 11             | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3   | 1,5 | 1,5 | 2,5 |
| 12             | 2,5 | 2,8 | 2,5 | 3   | 2,5 | 2,5 | 3   |
| 13             | 2,8 | 3   | 2,8 | 4   | 2,8 | 2,8 | 3   |
| 14             | 3,2 | 2,8 | 3,2 | 2,5 | 3   | 3   | 2,8 |
| 15             | 3   | 3   | 3,2 | 2,8 | 1,5 | 1,5 | 3   |
| 16             | 2,8 | 3   | 3   | 2,8 | 1   | 1   | 3   |
| 17             | 1   | 2   | 2   | 3   | 1   | 1   | 2   |
| 18             | 2   | 2   | 2,5 | 2,8 | 1   | 1   | 2   |
| 19             | 4   | 3   | 2   | 4   | 2   | 2   | 3   |
| 20             | 4   | 4   | 4   | 3   | 1,8 | 1,8 | 3   |

Продовження таблиці 7.1

| № варіанту     | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | M   |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| Одиниці виміру | кН/м           |                |                |                | кН             |                | кНм |
| 1              | 2              | 8              | 4              | 4              | 5              | 5              | 8   |
| 2              | 4              | 6              | 3              | 3              | 3              | 4              | 7   |
| 3              | 2              | 6              | 5              | 5              | 4              | 5              | 6   |
| 4              | 3              | 9              | 6              | 6              | 7              | 8              | 9   |
| 5              | 3              | 7              | 4              | 5              | 10             | 8              | 5   |
| 6              | 2              | 4              | 7              | 8              | 3              | 8              | 6   |
| 7              | 5              | 12             | 4              | 8              | 6              | 6              | 7   |
| 8              | 6              | 10             | 3              | 7              | 12             | 15             | 10  |
| 9              | 5              | 9              | 8              | 5              | 15             | 15             | 6   |
| 10             | 4              | 8              | 3              | 8              | 5              | 9              | 8   |
| 11             | 3              | 9              | 7              | 9              | 3              | 8              | 2   |
| 12             | 6              | 12             | 8              | 7              | 14             | 8              | 6   |
| 13             | 2              | 8              | 9              | 12             | 3              | 8              | 5   |
| 14             | 6              | 8              | 10             | 12             | 14             | 12             | 9   |
| 15             | 4              | 8              | 7              | 4              | 10             | 7              | 4   |
| 16             | 3              | 8              | 12             | 7              | 8              | 4              | 9   |
| 17             | 3              | 7              | 8              | 8              | 12             | 8              | 4   |
| 18             | 5              | 9              | 3              | 3              | 3              | 5              | 8   |
| 19             | 5              | 7              | 4              | 6              | 11             | 9              | 4   |
| 20             | 3              | 7              | 5              | 4              | 6              | 4              | 9   |

## РГР №2. Розрахунок просторової рами

### Вихідні дані

Розрахункова схема просторової рами і характер зовнішнього навантаження представлені на рис.7.2.

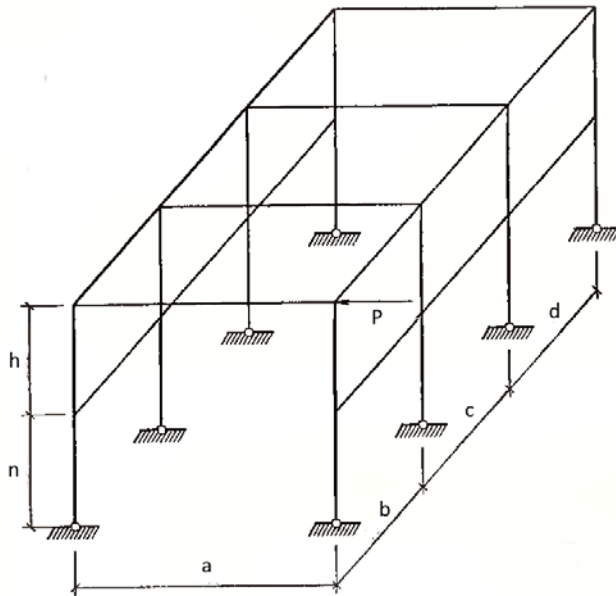
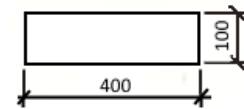


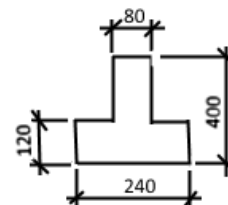
Рис. 7.2

Матеріал – бетон важкий  
В30

Переріз стійки:



Переріз ригеля:



### Завдання

Згідно варіанту (табл. 7.2) заданої рами (рис. 7.2) за допомогою системи SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

Сформувати її розрахункову просторову стержневу скінчено-елементну модель;

Визначити НДС моделі від заданого навантаження;

Вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;

Підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори пакету MS Office і виконати експорт.

Таблиця 7.2

| № варіанта     | a   | b | c   | d | n | h   | P  |
|----------------|-----|---|-----|---|---|-----|----|
| Одиниці виміру | м   |   |     |   |   |     | кН |
| 1              | 6   | 4 | 6   | 4 | 3 | 3,2 | 6  |
| 2              | 4   | 5 | 4   | 6 | 3 | 3,2 | 6  |
| 3              | 5   | 5 | 5   | 5 | 3 | 5   | 5  |
| 4              | 6   | 3 | 6   | 3 | 4 | 6   | 5  |
| 5              | 4,5 | 4 | 4,5 | 6 | 4 | 4   | 7  |
| 6              | 6,2 | 6 | 6,2 | 6 | 4 | 5,5 | 7  |
| 7              | 5,5 | 5 | 5,5 | 5 | 5 | 6   | 8  |
| 8              | 5,4 | 5 | 5,4 | 6 | 5 | 3   | 10 |
| 9              | 6,4 | 3 | 6   | 4 | 5 | 4   | 12 |
| 10             | 7   | 5 | 7   | 5 | 6 | 4   | 3  |
| 11             | 8   | 5 | 8   | 6 | 6 | 5   | 5  |
| 12             | 3   | 4 | 3   | 4 | 6 | 4   | 7  |
| 13             | 4   | 6 | 4   | 5 | 4 | 5   | 3  |
| 14             | 4,8 | 4 | 4   | 6 | 4 | 4   | 8  |
| 15             | 6,5 | 5 | 6   | 5 | 4 | 6   | 9  |
| 16             | 7,5 | 4 | 8   | 4 | 5 | 5,2 | 10 |
| 17             | 7   | 6 | 8   | 6 | 5 | 5,2 | 11 |
| 18             | 4   | 6 | 4   | 5 | 5 | 5,4 | 5  |
| 19             | 3,8 | 5 | 4   | 5 | 3 | 4   | 3  |
| 20             | 5,8 | 6 | 6   | 6 | 3 | 4   | 6  |

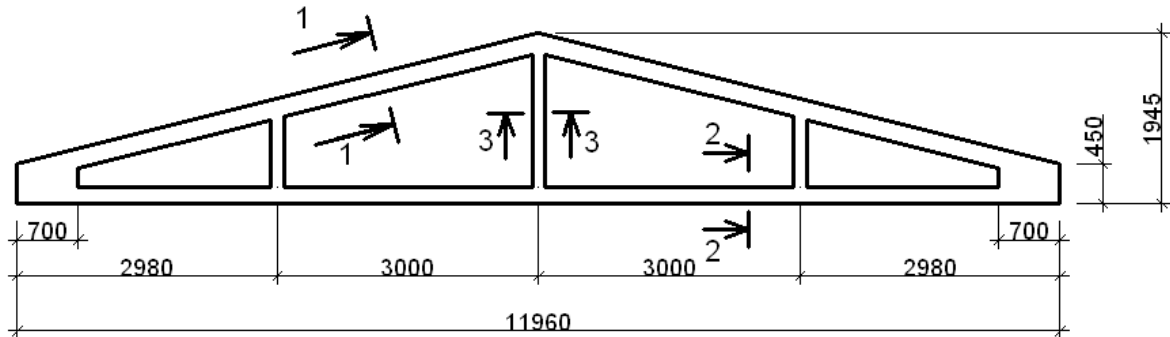


## 8. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Залізобетонні конструкції»

### РГР №3 Розрахунок на міцність безрозкісної ферми

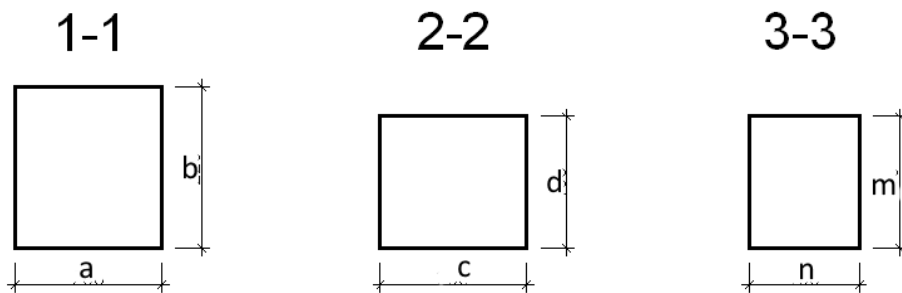
#### Вихідні дані

На рис. 8.1 наведено: схему конструкції ферми (а), основні геометричні розміри перерізів (б), а також характер зовнішнього навантаження (в).

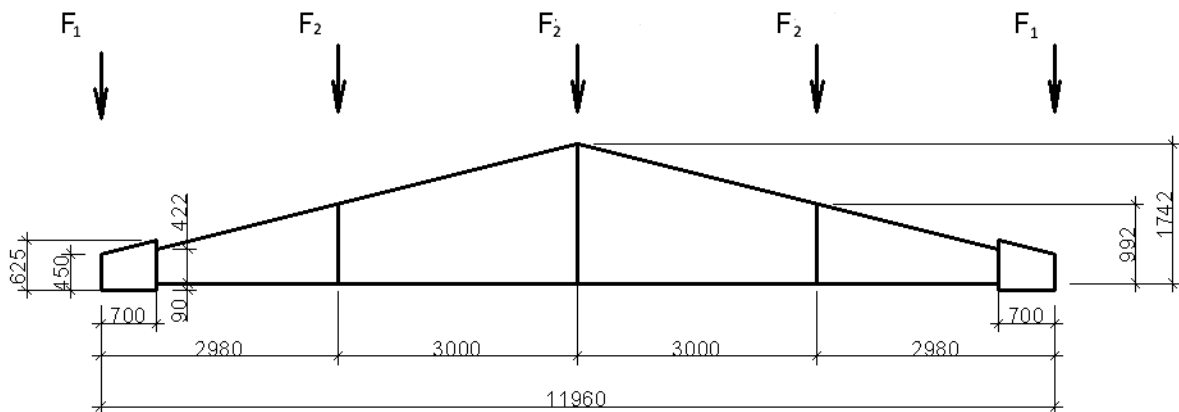


а

Переріз:



б



в

Рис. 8.1

#### Завдання

Згідно варіанту (табл. 8.1) заданої схеми завантаженої ферми (рис. 8.1), за допомогою SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

- сформувати розрахункову плоску пластинчасто-стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані та результати розрахунку ( в тому числі графічні) для експорту в редактор Microsoft Word з пакету MS Office і виконати експорт.

Таблиця 8.1

| № варіанта     | Матеріал, бетон важкий | a   | b   | c   | d   | n   | m   | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> |
|----------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|----------------|
| Одиниці виміру |                        | м   |     |     |     |     |     | кН             |                |
| 1              | B30                    | 100 | 120 | 100 | 80  | 50  | 80  | 25             | 50             |
| 2              | B30                    | 120 | 140 | 120 | 100 | 70  | 100 | 28             | 56             |
| 3              | B30                    | 80  | 100 | 80  | 60  | 30  | 60  | 32             | 64             |
| 4              | B30                    | 90  | 110 | 90  | 70  | 40  | 70  | 26             | 52             |
| 5              | B30                    | 120 | 140 | 120 | 100 | 70  | 100 | 22             | 44             |
| 6              | B30                    | 140 | 160 | 140 | 120 | 90  | 120 | 20             | 40             |
| 7              | B30                    | 110 | 130 | 110 | 90  | 60  | 90  | 12             | 24             |
| 8              | B60                    | 100 | 120 | 100 | 80  | 50  | 80  | 24             | 48             |
| 9              | B60                    | 160 | 180 | 160 | 140 | 110 | 140 | 30             | 60             |
| 10             | B60                    | 150 | 170 | 150 | 130 | 100 | 130 | 32             | 64             |
| 11             | B60                    | 220 | 240 | 220 | 200 | 170 | 200 | 24             | 48             |
| 12             | B60                    | 200 | 220 | 200 | 180 | 150 | 180 | 25             | 50             |
| 13             | B60                    | 180 | 200 | 180 | 160 | 130 | 160 | 26             | 32             |
| 14             | B60                    | 170 | 190 | 170 | 150 | 120 | 150 | 25             | 50             |
| 15             | B60                    | 160 | 180 | 160 | 140 | 110 | 140 | 45             | 90             |
| 16             | B30                    | 240 | 260 | 240 | 220 | 190 | 220 | 42             | 84             |
| 17             | B30                    | 180 | 200 | 180 | 160 | 130 | 160 | 40             | 80             |
| 18             | B30                    | 100 | 120 | 100 | 80  | 50  | 80  | 36             | 72             |
| 19             | B30                    | 120 | 140 | 120 | 100 | 70  | 100 | 35             | 70             |
| 20             | B30                    | 140 | 160 | 140 | 120 | 90  | 120 | 30             | 60             |

## РГР №4. Розрахунок на міцність балки двоскатної решітчастої

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, схема балки і основні геометричні розміри стосовно типових балок серії 1.462-3 приведені на рис. 8.2. Матеріал – бетон важкий В30.

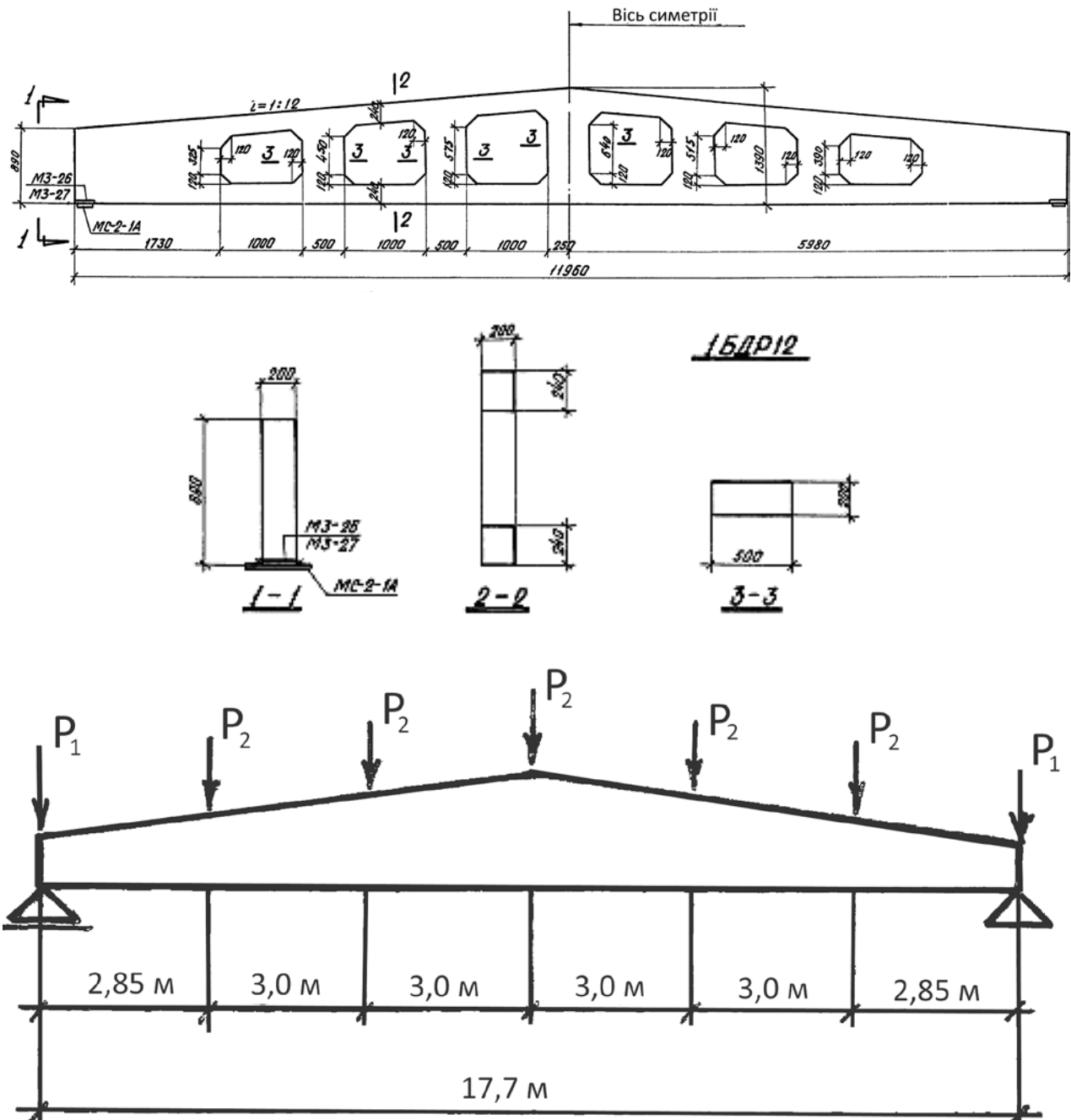


Рис. 8.2

### Завдання

Згідно варіанту (табл. 8.2) заданої схеми навантаженої балки (рис. 8.2.) за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задачі:

- сформувати її розрахункову об'ємну скінченно-елементну модель;
- визначити напружено-деформований стан моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного напружено-деформованого стану моделі;
- підготувати початкові дані і результати розрахунку (у тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і здійснити експорт.

Таблиця 8.2

| № варіанту     | $P_1$ | $P_2$ |
|----------------|-------|-------|
| Одиниці виміру | кН    |       |
| 1              | 20    | 40    |
| 2              | 24    | 48    |
| 3              | 22    | 44    |
| 4              | 30    | 60    |
| 5              | 25    | 50    |
| 6              | 26    | 52    |
| 7              | 34    | 64    |
| 8              | 32    | 62    |
| 9              | 23    | 46    |
| 10             | 28    | 56    |
| 11             | 46    | 92    |
| 12             | 18    | 36    |
| 13             | 16    | 32    |
| 14             | 21    | 42    |
| 15             | 50    | 100   |
| 16             | 35    | 70    |
| 17             | 36    | 72    |
| 18             | 37    | 74    |
| 19             | 40    | 80    |
| 20             | 45    | 90    |

## 9. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Металеві конструкції»

### РГР №5. Розрахунок на міцність металевої зварної двотаврової балки

#### Вихідні дані

Геометрична схема балки представлена на рис. 9.1.

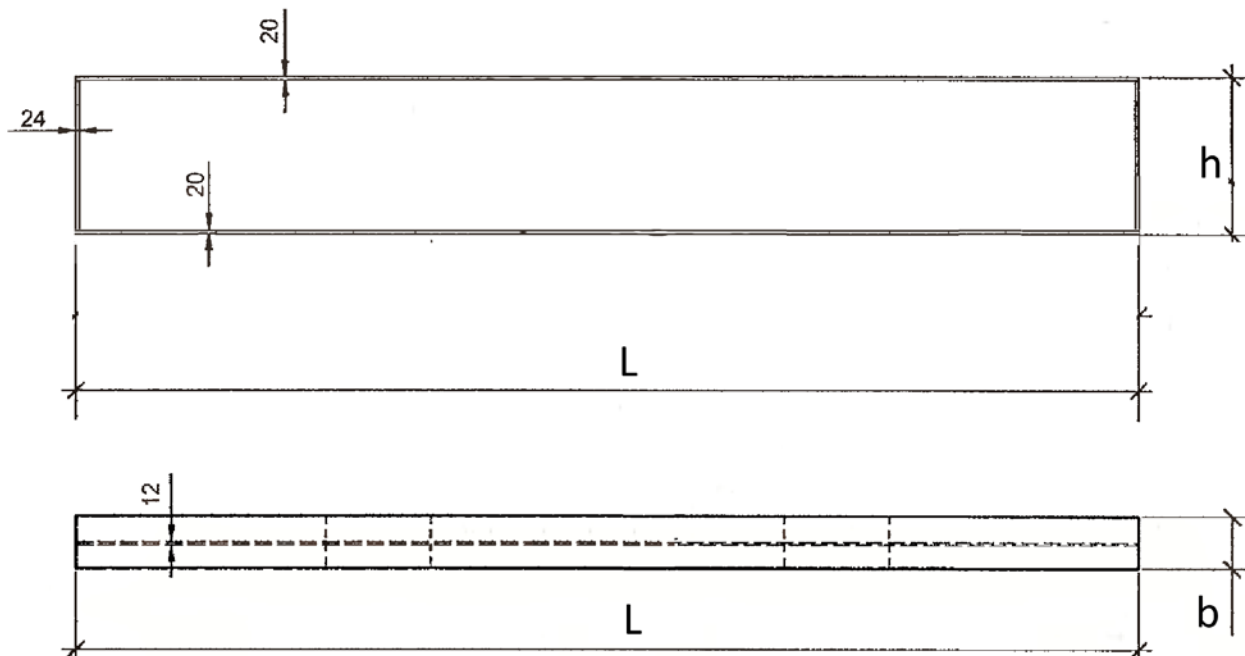


Рис. 9.1

- балка шарнірно закріплена на опорах, розташованих по кінцях нижнього поясу;
- з'єднання стінки з полицями - електродуговим зварюванням;
- балка завантажена зосередженими силами, прикладеними у вузлах верхнього поясу;
- елементи балки виконані з одного матеріалу (сталь звичайна);

#### Завдання

Згідно варіанту (табл. 9.1) заданої схеми навантаженої балки за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задавання:

- сформувати її розрахункову пластинчасту скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку для експорту в редактори з пакету MS Office та здійснити експорт.

Таблиця 9.1

| № варіанту     | L    | b    | h    | F   |
|----------------|------|------|------|-----|
| Одиниці виміру | м    |      |      | кН  |
| 1              | 6    | 0,1  | 0,6  | 2   |
| 2              | 5    | 0,1  | 0,5  | 2   |
| 3              | 4    | 0,12 | 0,4  | 4   |
| 4              | 7    | 0,15 | 0,7  | 4   |
| 5              | 8    | 0,16 | 0,8  | 4,5 |
| 6              | 9    | 0,18 | 0,9  | 4,5 |
| 7              | 9,5  | 0,18 | 0,95 | 5   |
| 8              | 10   | 0,2  | 1    | 5   |
| 9              | 10,5 | 0,2  | 1,1  | 6   |
| 10             | 11   | 0,2  | 1,1  | 6   |

| <b>№ варіанту</b> | <b>L</b> | <b>b</b> | <b>h</b> | <b>F</b> |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Одиниці виміру    |          | м        |          | кН       |
| 11                | 11,5     | 0,2      | 1,2      | 8        |
| 12                | 12       | 0,3      | 0,8      | 8        |
| 13                | 12,5     | 0,4      | 1        | 8,5      |
| 14                | 13       | 0,4      | 1,2      | 9        |
| 15                | 13,5     | 0,5      | 1,2      | 10       |
| 16                | 14       | 0,45     | 1,3      | 10       |
| 17                | 14,5     | 0,5      | 1,3      | 12       |
| 18                | 15       | 0,6      | 1,4      | 12       |
| 19                | 15,5     | 0,6      | 1,4      | 14       |
| 20                | 16       | 0,6      | 1,4      | 15       |

## РГР №6. Розрахунок на міцність ферми двоскатної

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, геометрична схема і основні розміри стропильної ферми представлені на рис. 9.2.

Ферма шарнірно оперта на опорах;

Вузли ферми шарнірні;

Ферма навантажена в своїй площині зосередженими силами, які прикладені в вузлах верхнього поясу;

Елементи ферми виконані з одного матеріалу;

Поперечний переріз всіх елементів ферми виконано із двох спарених рівнобічних кутиків.

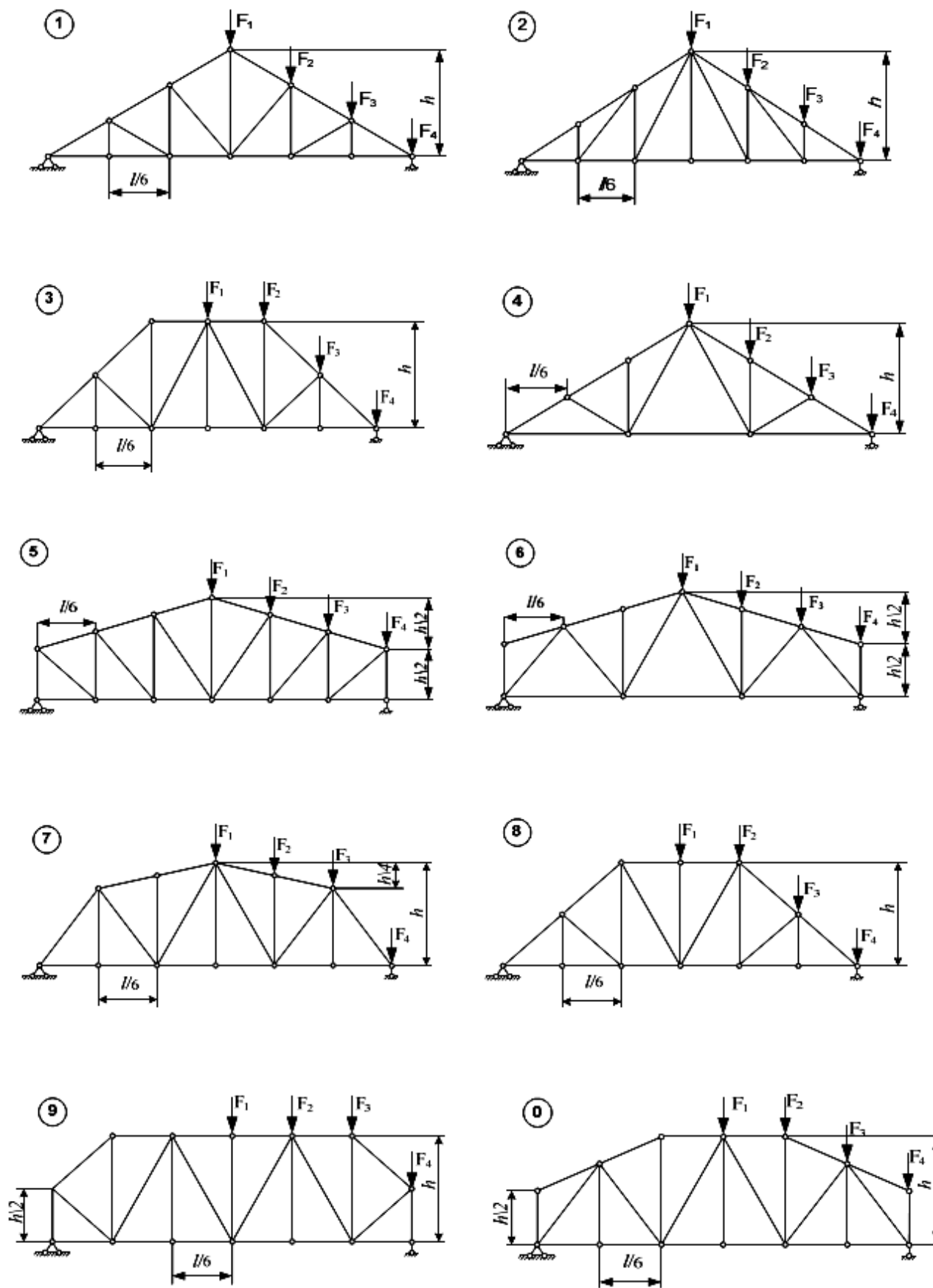
### Завдання

Згідно варіанту (табл. 9.2) заданої схеми навантаженої ферми за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі завдання:

- сформулювати її розрахункову плоску стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- показати на екрані монітора комп'ютера компоненти НДС моделі;
- виконати перевірку несучої здатності сталевих перерізів;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунків (в тому числі графічні) для експорту в редактори із пакета MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) і здійснити експорт.

Таблиця 9.2

| № варіанту     | Схема | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | L  | h   |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|-----|
| Одиниці виміру |       | кН             |                |                |                | м  |     |
| 1              | 1     | 15             | 18             | 20             | 15             | 21 | 4   |
| 2              | 2     | 20             | 16             | 18             | 14             | 18 | 3   |
| 3              | 3     | 10             | 10             | 14             | 18             | 30 | 6   |
| 4              | 4     | 18             | 14             | 25             | 20             | 15 | 4   |
| 5              | 5     | 26             | 20             | 22             | 24             | 21 | 5   |
| 6              | 6     | 12             | 22             | 28             | 22             | 24 | 6   |
| 7              | 7     | 16             | 12             | 15             | 26             | 20 | 3   |
| 8              | 8     | 14             | 24             | 26             | 18             | 22 | 4,5 |
| 9              | 9     | 22             | 30             | 16             | 10             | 26 | 5   |
| 10             | 0     | 26             | 28             | 10             | 18             | 28 | 6   |
| 11             | 1     | 20             | 14             | 14             | 18             | 24 | 2   |
| 12             | 2     | 12             | 20             | 25             | 20             | 20 | 3   |
| 13             | 3     | 15             | 22             | 22             | 24             | 21 | 4   |
| 14             | 4     | 14             | 12             | 28             | 22             | 18 | 3,5 |
| 15             | 5     | 22             | 24             | 20             | 26             | 30 | 2,5 |
| 16             | 6     | 16             | 30             | 18             | 18             | 15 | 6   |
| 17             | 7     | 20             | 28             | 14             | 15             | 21 | 5   |
| 18             | 8     | 24             | 16             | 25             | 14             | 10 | 4,5 |
| 19             | 9     | 18             | 10             | 30             | 18             | 12 | 3   |
| 20             | 0     | 10             | 14             | 15             | 10             | 24 | 5   |



Г 100x8

Рис. 9.2



## РГР №7. Розрахунок на міцність металевої структурної конструкції

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, геометрична схема і основні розміри структури представлені на рис. 9.3.

Структура спирається на три шарнірно-рухомі і одну шарнірно-нерухому опори, в кожній з опор сходиться по чотири опорних розкоси, що з'єднуються з тілом структури. Вузли структури шарнірні.

Структура завантажена зосередженими силами, прикладеними у вузлах верхнього поясу.

Елементи структури виконані з одного матеріалу (сталь звичайна).

Поперечний переріз всіх елементів структури - трубчатий.

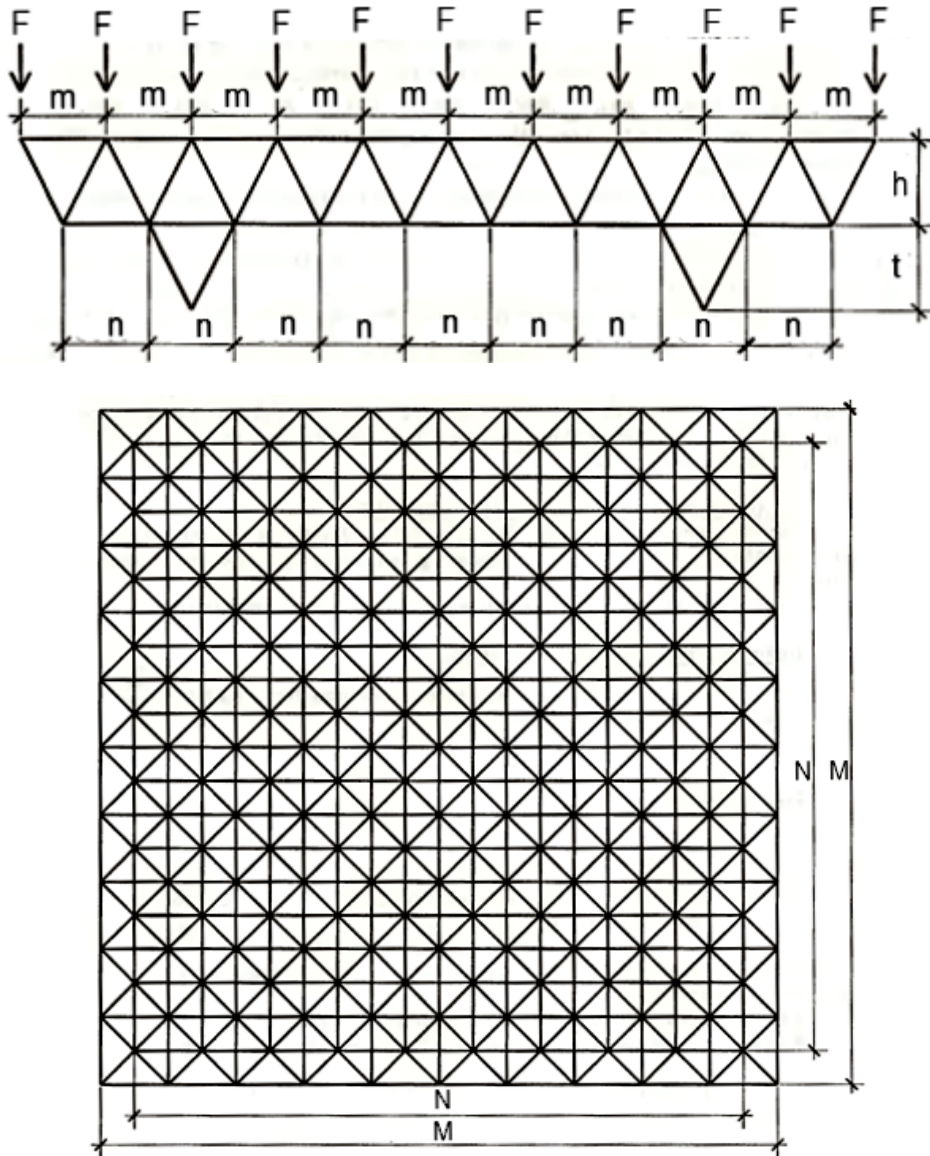


Рис. 9.3

### Завдання

Згідно варіанту (табл. 9.3) заданої схеми структури (рис. 9.3) за допомогою програмного комплексу SCAD необхідно вирішити наступні задачі:

- сформувати її розрахункову стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- відобразити на екрані монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- виконати перевірку несучої здатності сталевих перерізів;
- сформувати звіт.

Таблиця 9.3

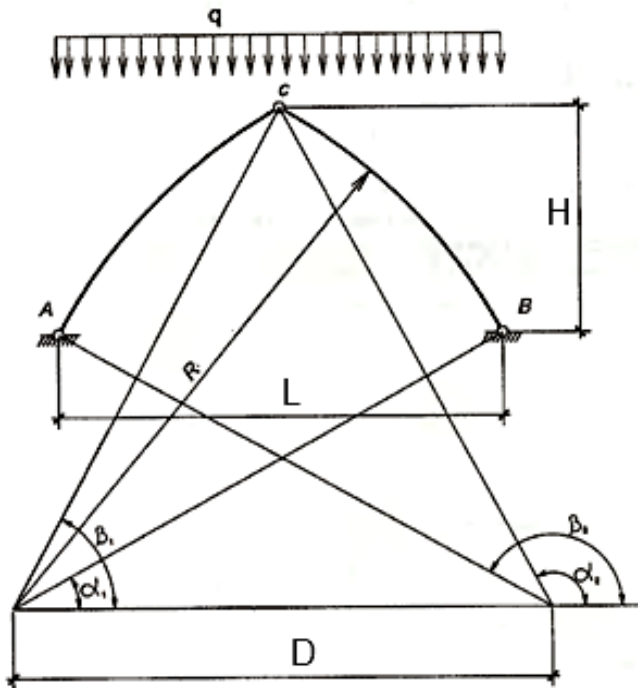
| №<br>варіанта | n, м | m, м | h, м | t, м | F, кН | Переріз<br>трубчатий |
|---------------|------|------|------|------|-------|----------------------|
| 1             | 2,6  | 2,6  | 2,6  | 2,8  | 23    | 60x3                 |
| 2             | 2,6  | 2,8  | 2,6  | 2,8  | 24    | 60x3                 |
| 3             | 3,0  | 3,0  | 3,2  | 3,2  | 25    | 60x4                 |
| 4             | 3,0  | 3,2  | 3,2  | 3,4  | 26    | 60x4                 |
| 5             | 3,2  | 3,2  | 3,4  | 3,4  | 27    | 60x5                 |
| 6             | 3,4  | 3,4  | 3,6  | 3,4  | 28    | 60x5                 |
| 7             | 3,6  | 3,6  | 3,6  | 3,8  | 30    | 60x6                 |
| 8             | 3,6  | 3,8  | 4,0  | 4,0  | 32    | 60x6                 |
| 9             | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,2  | 34    | 70x3                 |
| 10            | 4,0  | 4,2  | 4,2  | 4,3  | 36    | 70x3                 |
| 11            | 2,4  | 2,4  | 2,4  | 2,6  | 22    | 60x3                 |
| 12            | 2,6  | 2,8  | 2,6  | 2,8  | 28    | 60x3                 |
| 13            | 3,0  | 3,0  | 3,2  | 3,2  | 29    | 60x4                 |
| 14            | 3,0  | 3,2  | 3,2  | 3,4  | 29    | 60x4                 |
| 15            | 3,0  | 3,0  | 3,2  | 3,2  | 26    | 60x5                 |
| 16            | 3,4  | 3,4  | 3,6  | 3,4  | 30    | 60x5                 |
| 17            | 3,6  | 3,6  | 3,6  | 3,8  | 33    | 60x6                 |
| 18            | 3,6  | 3,8  | 4,0  | 4,0  | 34    | 60x6                 |
| 19            | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,2  | 36    | 70x3                 |
| 20            | 4,0  | 4,2  | 4,2  | 4,3  | 38    | 70x3                 |

## 10. Розрахунково-графічні роботи з курсу «Конструкції з деревини»

### РГР №8. Розрахунок на міцність арки стрілкової

#### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження і геометрична схема представлені на рис. 10.1.



$L=35$  м;  
 $D=42,42$  м;  
 $H=17,5$  м;  
 $R=44,14$  м;  
 $\alpha_1=28,72^\circ$ ;  
 $\beta_1=61,28^\circ$ ;  
 $\alpha_2=118,72^\circ$ ;  
 $\beta_2=151,28^\circ$

Елементи арки виконані з деревини з коефіцієнтом Пуассона – 0,5.

Рис. 10.1

- арка прикріплена до «землі» за допомогою двох шарнірно-нерухомих опор в точках А і В;
- дуги арки АС і ВС мають в вузлі С шарнірно-циліндричне з'єднання;
- арка одночасно навантажена в її площині рівномірно розподіленим горизонтальним навантаженням  $q$  і власною вагою;

#### Завдання

Згідно варіанту (табл. 10.1) задавання навантаження, матеріалу та розмірів перерізу елементів арки за допомогою програмного комплексу SCAD вирішити наступні задачі:

- сформувати її розрахункову стержньову скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого завантаження;
- відобразити на екрані монітора комп'ютера компоненти НДС моделі;
- сформувати звіт.

Таблиця 10.1

| № варіанту | $q$ , кН/м | Матеріал | Питома вага, кН/м <sup>3</sup> | Модуль пружності кН/м <sup>2</sup> | Переріз, мм |
|------------|------------|----------|--------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 1          | 2,2        | модрина  | 6,5                            | 1,4e+07                            | 120x400     |
| 2          | 2,4        | сосна    | 5,2                            | 1,2e+07                            | 120x500     |
| 3          | 2,5        | ялина    | 4,5                            | 0,9e+07                            | 120x600     |
| 4          | 2,6        | ялиця    | 4,1                            | 0,8e+07                            | 140x600     |
| 5          | 2,7        | модрина  | 6,5                            | 1,4e+07                            | 140x800     |
| 6          | 2,8        | сосна    | 5,2                            | 1,2e+07                            | 150x500     |
| 7          | 3,0        | ялина    | 4,5                            | 0,9e+07                            | 150x600     |
| 8          | 3,2        | модрина  | 6,5                            | 1,4e+07                            | 150x800     |
| 9          | 3,4        | сосна    | 5,2                            | 1,2e+07                            | 160x600     |

| <b>№<br/>варіанту</b> | <b>q, кН/м</b> | <b>Матеріал</b> | <b>Питома вага,<br/>кН/м<sup>3</sup></b> | <b>Модуль<br/>пружності<br/>кН/м<sup>2</sup></b> | <b>Переріз, мм</b> |
|-----------------------|----------------|-----------------|--|--|--------------------|
| 10                    | 3,6            | ялиця           | 4,1                                      | 0,8e+07  | 160x800            |
| 11                    | 2,2            | модрина         | 6,5                                      | 1,4e+07  | 120x300            |
| 12                    | 2,4            | сосна           | 5,2                                      | 1,2e+07  | 120x400            |
| 13                    | 2,5            | ялина           | 4,5                                      | 0,9e+07  | 120x500            |
| 14                    | 2,6            | ялиця           | 4,1                                      | 0,8e+07  | 140x500            |
| 15                    | 2,7            | модрина         | 6,5                                      | 1,4e+07  | 140x600            |
| 16                    | 2,8            | сосна           | 5,2                                      | 1,2e+07  | 120x600            |
| 17                    | 3,0            | ялина           | 4,5                                      | 0,9e+07  | 120x400            |
| 18                    | 3,2            | модрина         | 6,5                                      | 1,4e+07  | 200x800            |
| 19                    | 3,4            | сосна           | 5,2                                      | 1,2e+07  | 160x800            |
| 20                    | 3,6            | ялиця           | 4,1                                      | 0,8e+07  | 160x600            |

## РГР №9. Розрахунок на міцність елементів купола ребристо-кільцевого

### Вихідні дані

Характер зовнішнього навантаження, геометрична схема і основні розміри купола представлені на рис.10.2, 10.3:

- купол являє собою поверхню обертання з віссю, що проходить через центри верхнього та нижнього кілець;
- ребра-арки виконані з дерева, кільця і зв'язки по поверхні покриття виконані з металу;
- ребра-арки мають однаковий по всій довжині прямокутний переріз і орієнтацію місцевих координатних осей  $X1, Y1, Z1$ ;
- кільця і зв'язки по поверхні покриття мають переріз з прокатних профілів;
- ребра-арки закріплюються до опорної горизонтальної поверхні сферичними шарнірно нерухомими опорами;
- у всіх проміжних вузлах елементи ребер купола жорстко з'єднуються між собою;
- на кожну арку діє рівномірне розподілене навантаження від власної ваги несучої конструкції і трикутне від ваги покриття.

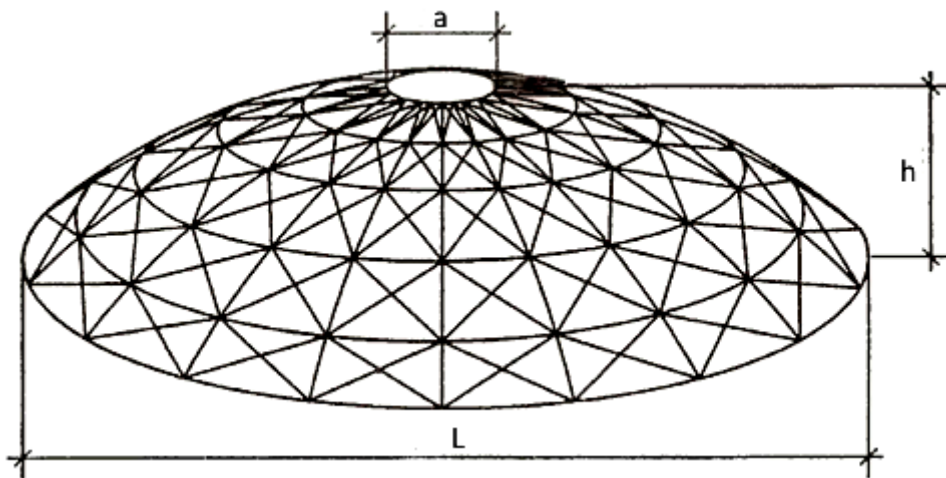


Рис. 10.2

### Матеріал:

- ребра-арки: деревина (модрина: об'ємна вага -  $6.5 \text{ кН/м}^3$ , модуль пружності -  $1e +07 \text{ кН/м}^2$ , коефіцієнт Пуассона - 0,5)
- верхнє кільце: метал;
- проміжні кільця: метал;
- поперечні зв'язки: метал;

### Переріз:

- ребра-арки:

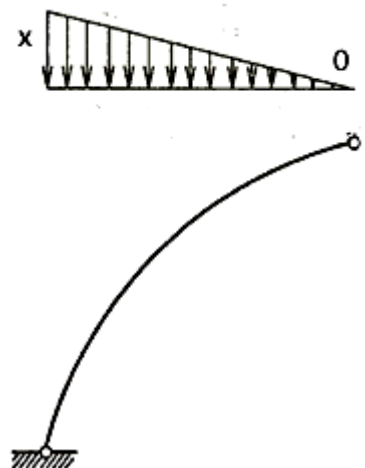
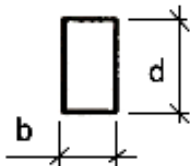


Рис. 10.3

### Завдання

Згідно варіанта (табл. 10.2) заданої схеми навантаженого купола (рис. 10.2) за допомогою системи SCAD необхідно вирішити такі задачі:

- сформувані розрахунково-просторову стержневу скінченно-елементну модель;
- визначити НДС моделі від заданого навантаження;
- вивести на екран монітора комп'ютера компоненти визначеного НДС моделі;
- підготувати вихідні дані і результати розрахунку (в тому числі графічні) для експорту в редактори з пакету MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel) та здійснити експорт.

Таблиця 10.2

| № варіанту | a, м | L, м | h, м | b, мм | d, мм | x, кН/м | Верхнє кільце: швелер | Проміжні кільця та поперечні зв'язки: квадратні труби |
|------------|------|------|------|-------|-------|---------|-----------------------|---|
| 1          | 1,5  | 30   | 15   | 100   | 600   | 70      | 30                    | 80x3  |
| 2          | 1,2  | 20   | 14   | 50    | 300   | 60      | 28                    | 80x4  |
| 3          | 1,0  | 16   | 0,8  | 50    | 280   | 50      | 28                    | 60x3  |
| 4          | 1,0  | 18   | 1,0  | 45    | 280   | 65      | 26                    | 60x4  |
| 5          | 1,2  | 18   | 12   | 60    | 400   | 40      | 25                    | 70x4  |
| 6          | 1,4  | 28   | 15   | 80    | 600   | 45      | 26                    | 70x3  |
| 7          | 1,5  | 28   | 14   | 85    | 650   | 80      | 30                    | 80x4  |
| 8          | 1,4  | 30   | 14   | 80    | 560   | 75      | 28                    | 80x3  |
| 9          | 1,3  | 26   | 12   | 60    | 360   | 45      | 26                    | 70x3  |
| 10         | 1,2  | 26   | 12   | 65    | 400   | 50      | 25                    | 60x4  |
| 11         | 1,5  | 30   | 15   | 100   | 600   | 80      | 28                    | 80x3  |
| 12         | 1,2  | 20   | 14   | 50    | 300   | 70      | 30                    | 80x4  |
| 13         | 1,0  | 16   | 0,8  | 50    | 280   | 50      | 26                    | 60x3  |
| 14         | 1,0  | 18   | 1,0  | 45    | 280   | 70      | 28                    | 60x4  |
| 15         | 1,2  | 18   | 12   | 60    | 400   | 50      | 26                    | 70x4  |
| 16         | 1,4  | 28   | 15   | 80    | 600   | 60      | 25                    | 70x3  |
| 17         | 1,5  | 28   | 14   | 85    | 650   | 75      | 28                    | 80x4  |
| 18         | 1,4  | 30   | 14   | 80    | 560   | 80      | 30                    | 80x3  |
| 19         | 1,3  | 26   | 12   | 60    | 360   | 75      | 25                    | 70x3  |
| 20         | 1,2  | 26   | 12   | 65    | 400   | 70      | 26                    | 60x4  |

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, М. А. Микитаренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD - М: Изд-во АСВ, 2004 - 592 с.
2. А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа (издание 2-е переработанное и дополненное).- Киев: Изд-во Сталь, 2002. - 600 с.
3. В. Карпиловский, Э. Криксунов, А. Перельмутер, М. Перельмутер, А. Трофимчук. SCAD для пользователя.- Киев: Изд-во КОМПАС, 2000. - 328 с.
4. В. Карпиловский, Э. Криксунов, А. Маляренко, М. Микитаренко, А. Перельмутер, М. Перельмутер, В. Федоровский. SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах - М: Изд-во АСВ, 2004. - 288 с.
5. И. А. Белокопытова, Э. З. Криксунов, М. А. Микитаренко, М. А. Перельмутер, "Арбат" - программа для расчета железобетонных строительных конструкций" CAD Master, 2001, №4.
6. И. А. Белокопытова, Э. З. Криксунов, М. А. Микитаренко, М. А. Перельмутер. "Арбат" - программа для расчета железобетонных строительных конструкций/САПР и Графика, 2001, № 10.
7. Э. Криксунов, М. Микитаренко, А. Перельмутер, М. Перельмутер. Программа для расчета стальных строительных конструкций, ч. 1. САПР и графика, 1999, № 4.
8. Э. Криксунов, М. Микитаренко, А. Перельмутер, М. Перельмутер. Программа для расчета стальных строительных конструкций, ч. 2. САПР и графика, 1999, № 5.
9. Э. З. Криксунов, М. А. Микитаренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. "Кристалл" — программа для расчета стальных строительных конструкций. Сателлиты программно-вычислительного комплекса SCAD. CAD Master, 2001, № 3.
10. Б. Н. Богод. "Кристалл" — программа для расчета стальных строительных конструкций. Сателлиты программно-вычислительного комплекса SCAD. Поиск, 2001, № 4.
11. И. Белокопытова, И. Гавриленко. Проектирование монолитных ребристых перекрытий с помощью программы МОНОЛИТ. CAD Master, 2002, № 1. С. 68-70.
12. Л. Скорук. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий. CAD Master, 2004, № 3. С. 78-83.
13. Э. Криксунов, М. Микитаренко, А. Перельмутер, М. Перельмутер, Д. Рудь. ВЕСТ - программа для определения нагрузок на строительные конструкции. CAD Master, 2002, № 1. С. 71-73.
14. Е. Зеливянский, В. Карпиловский, Э. Криксунов. ArchiCAD - Structure CAD (SCAD). Переход от архитектурного решения к расчетной схеме. CAD Master, 2000, № 5.
15. Э. Криксунов, А. Перельмутер, М. Перельмутер, А. Семенов, В. Федоровский. КРОСС - программа для определения коэффициентов постели. Основания, фундаменты и механика грунтов, 2002, № 1. С. 10-11.
16. В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. SCAD Office. Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. - М: Изд-во АСВ, 2004 - 80 с.
17. А. А. Семенов, А. Е. Чуйкин. Учебно-методическое обеспечение изучения программного комплекса SCAD Office в курсах дисциплин строительных конструкций. Проблемы строительного комплекса России. Материалы VIII международной научно-технической конференции, т. 2, Уфа, 2004. С. 153 – 154.
18. Семенов А. А., Габитов А. И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Часть I. / Статический расчет: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2005 – 152 с.
19. В. И. Трофимов, Г. Б. Бегун. Структурные конструкции. - М.: Стройиздат, 1972. - Рекомендации по проектированию структурных конструкций под ред. В.И.Трофимова Труды ЦНИИСК М.: Стройиздат, 1984.
20. В. М. Вдовин, В. Н. Карпов. Сборник задач и практические методы их решения по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс». - М.: Изд-во АСВ, 2004. - 144 с.

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Завацький Сергій Володимирович  
Корзаченко Микола Миколайович

### АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ **Structure CAD Office**

Навчально-методичний посібник  
до виконання розрахунково-графічних робіт по курсам:  
«Будівельна механіка», «Металеві конструкції»,  
«Залізобетонні конструкції» та «Конструкції з деревини»

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Технічний редактор</b>  | <i>Завацький С. В., Корзаченко М. М.</i> |
| <b>Комп'ютерна верстка</b> | <i>Завацький С. В., Корзаченко М. М.</i> |
| <b>Друк</b>                | <i>Гузь К.П., Тестова Н. А.</i>          |

Прийнято до друку 25.09.2017 р. Здано до друку 26.12.2017  
Формат 60x84/16 Папір офіс. Гарнітура Times New Roman. Друк - цифровий.  
Ум.-друк. арк. 11,5 Обл.-вид. арк. 8,07.  
Наклад 10 прим. Зам. № 1810.017.016.

Чернігівський національний технологічний університет  
14027 м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.