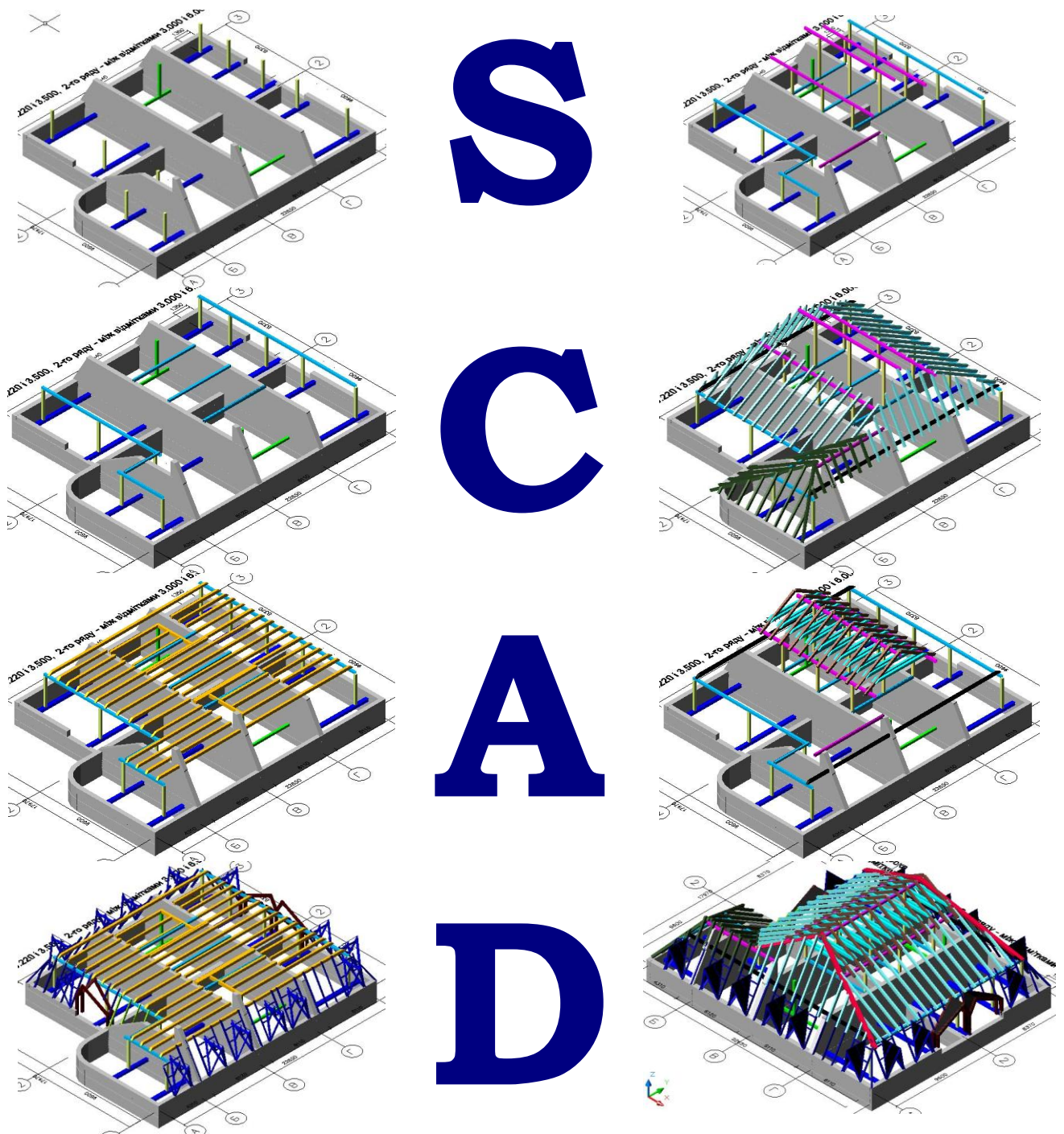


**Р. А. Шмиг
І. М. Добрянський
О. І. Коваль**

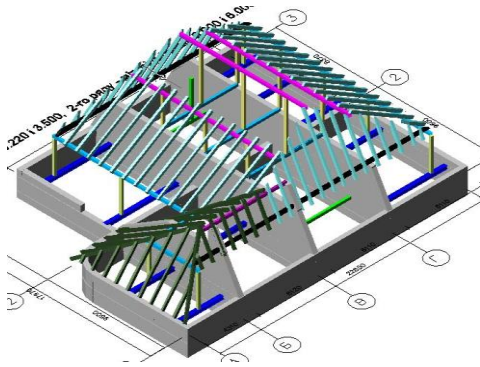
РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСІ



Львів 2018

Р. А. Шмиг
І. М. Добрянський
О. І. Коваль

**РОЗРАХУНОК
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСІ**



SCAD

Навчальний посібник

Видання друге, доповнене

*За загальною редакцією
кандидата технічних наук, доцента Р. А. Шмига*

Львів
2018

ББК 38.5я73
Ш-73
УДК 697.431:693.827

Автори:

Р. А. Шмиг, І. М. Добрянський, О. І. Коваль

Рецензенти:

Й. Й. Лучко, *д.т.н., професор*
(Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна),
П. Ф. Холод, *к.т.н., доцент*
(Національний університет «Львівська політехніка»)

*Рекомендовано до друку вченою радою
Львівського національного аграрного університету
(протокол № 4 від 21.12.2017 р.)*

Шмиг Р. А., Добрянський І. М., Коваль О. І.

Ш-73 Розрахунок будівельних конструкцій в
обчислювальному комплексі SCAD : навч. посіб. / за
заг. ред. Р. А. Шмига. Вид. 2-ге, доповн. Львів :
ННБК «АТБ», 2018. 102 с.

ISBN 978-966-2042-28-11

Навчальний посібник призначений для отримання теоретичних і практичних навичок роботи з інженерним обчислювальним комплексом SCAD, який працює під управлінням операційної системи Windows. У ньому детально описано головне вікно програми, діалогові вікна, технологію роботи з формування розрахункової схеми, прикладення зовнішнього навантаження, формування жорсткості елементів, закріплення вузлів, проведення статичного розрахунку металевих балок та ферм, підбору перерізів стрижнів, розрахунок монолітних залізобетонних плит, підбір стрижневого армування, аналіз отриманих результатів.

Для студентів інженерних факультетів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації, магістрів, аспірантів, наукових співробітників, інженерів та проєктантів, а також для тих, хто тільки починає освоювати системи автоматизованого проєктування у будівництві.

ББК 38.5я73

ISBN 978-966-2042-28-11

© Р. А. Шмиг, І. М. Добрянський,
О. І. Коваль, 2018

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС SCAD	5
1.1. Середовище SCAD	5
1.2. Проект	7
1.3. Функціональні модулі	7
1.4. Процесор і бібліотека скінченних елементів	8
1.5. Графічні засоби формування розрахункової схеми	9
1.6. Укрупнені розрахункові моделі і зв'язок з іншими системами	10
1.7. Групи	10
1.8. Фільтри	10
1.9. Графічний постпроцесор	16
1.10. Документування результатів	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ПЕРЕМІЩЕНЬ	17
2.1. Конструкція і її розрахункова схема	17
2.2. Розрахункова схема методу переміщень	17
2.3. Основні та додаткові невідомі	18
2.4. Зовнішні та внутрішні зв'язки	19
2.5. Групи, підсхеми, суперелементи	19
2.6. Навантаження і впливи	20
РОЗДІЛ 3. ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС SCAD	21
3.1. Мишка та клавіатура	21
3.2. Курсори	21
3.3. Вікна	22
3.4. Меню	23
3.4.1. Меню вікна Керування проектом	23
3.4.2. Розділ Проект	23
3.4.3. Розділ Опції	24
3.4.4. Розділ Довідка	26
3.5. Система координат	26

РОЗДІЛ 4. РОБОТА В СЕРЕДОВИЩІ SCAD	27
4.1. Завантаження програми	27
4.2. Формування розрахункової схеми	31
4.2.1. Вкладка Вузли та елементи	32
4.3. Формування зовнішнього навантаження	37
4.4. Формування жорсткісних характеристик	40
4.5. Формування зв'язків у вузлах	44
4.5.1. Варіанти закріплення вузлів у балках та рамах	46
4.6. Статичний розрахунок розрахункової схеми	48
4.7. Аналіз результатів статичного розрахунку розрахункової схеми	53
4.8. Перевірка несучої здатності металевих перерізів	57
4.8.1. Встановлення параметрів	59
4.8.2. Призначення конструктивних елементів	60
4.8.3. Призначення груп конструктивних елементів	62
4.8.4. Розрахунок	63
4.8.5. Відображення результатів	63
4.8.6. Підбір перерізів	65
4.9. Приклади статичного розрахунку конструкцій	66
4.9.1. Балка	66
4.9.2. Ферма	69
РОЗДІЛ 5. ПІДБІР СТРИЖНЕВОЇ АРМАТУРИ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ	71
5.1. Початок роботи	71
5.2. Формування розрахункової схеми	72
5.3. Призначення жорсткості плити та закріплення її вузлів	75
5.4. Формування навантаження	78
5.5. Статичний розрахунок залізобетонної плити	82
5.6. Формування групи елементів	84
5.7. Аналіз отриманих результатів	88
ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ	92
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	98



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС SCAD

1.1. Середовище SCAD

Середовище **SCAD** являє собою набір програм (рис. 1.1), які призначені для виконання міцнісних розрахунків і проектування різного виду та призначення будівельних конструкцій. До його складу входять програми чотирьох видів:

- обчислювальний комплекс **Structure CAD (SCAD)**, який є універсальною розрахунковою системою кінцевоелементного аналізу конструкцій і зорієнтований на розв'язок задач проектування будівель і споруд достатньо складної структури;

- допоміжні програми, призначені для обслуговування **SCAD** і забезпечення формування й розрахунку геометричних характеристик різного виду перерізів стрижневих елементів (**Конструктор перерізів, Консул, Тонус, Сезам**), визначення навантажень і впливів на будівлю, яка проектується (**Вест**), визначення коефіцієнтів постелі, необхідних під час розрахунку конструкцій на пружній основі (**Крос**), імпорту даних із архітектурних систем і формування укрупнених моделей (**Форум**);

- проектно-аналітичні програми **Кристал, Камін** та **Арбат**, які призначені для розв'язку окремих задач перевірки та розрахунку елементів сталевих і залізобетонних конструкцій відповідно до вимог нормативних документів (СНиП, ДБН);

- проектно-конструкторські програми **Комета** та **Моноліт**, які призначені для розробки конструкторської документації на стадії детальної проробки проектного вирішення.

Обчислювальний комплекс **SCAD** охоплює розвинуті засоби підготовки даних, розрахунку і аналізу результатів і не має практичних обмежень на розміри й форму будівель, які проектуються.

Обчислювальний комплекс **SCAD** реалізований як інтегрована система міцнісного аналізу і проектування конструкцій на основі методу скінченних елементів і дозволяє визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних впливів, а також виконати низку функцій проектування елементів конструкцій.



Рис. 1.1. Структура обчислювального комплексу **SCAD**.

1.2. Проект

В основу комплексу покладена система функціонування модулів, які зв'язані між собою єдиним інформаційним середовищем. Це середовище називається **проектом** і містить повну інформацію про розрахункову схему, представлену у внутрішніх форматах комплексу (рис. 1.2). У процесі формування розрахункової схеми проект наповнюється інформацією і зберігається на диску у файлі з розширенням **.spr**. Імена проекту та файла задаються під час створення нової розрахункової схеми.

Вихідні дані для виконання розрахунку можуть бути підготовлені як за допомогою інтерактивних графічних засобів, так і за допомогою їх опису у текстовому форматі. Необхідно зазначити, що переважно вся вхідна інформація, необхідна для виконання переважної більшості практичних розрахунків, готується у графіці, до текстового опису необхідно звертатися тільки під час виконання спеціальних чи унікальних розрахунків. Створений текстовий файл є зручним форматом для зберігання даних, він легко піддається архівуванню і за необхідності може бути перетворений у формати стандартного проекту комплексу **SCAD**.

1.3. Функціональні модулі

Функціональні модулі **SCAD** поділяються на чотири групи.

До **першої групи** входять модулі, які забезпечують введення початкових даних в інтерактивному графічному режимі (графічний процесор), виконання статичного і динамічного розрахунків (процесор), графічний аналіз результатів розрахунку (графічний постпроцесор).

Модулі **другої групи** слугують для обчислення розрахункових поєднань зусиль, комбінацій завантажень, головних і еквівалентних напружень, реакцій, навантажень від фрагмента розрахункової схеми, а також аналізу стійкості, побудови спектра амплітудно-частотних характеристик тощо.

Документування результатів розрахунку виконується модулями **третьої групи**.

До **четвертої групи** входять проектувальні модулі, які слугують для підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій та перевірки опору й підбору перерізів елементів сталевих конструкцій.

Усі функціональні модулі реалізовані в єдиному графічному середовищі. Інтерфейс, сценарії взаємодії користувача із системою, функції контролю початкових даних і аналізу

результатів повністю уніфіковані, що дає змогу забезпечити мінімальний час для освоєння комплексу та логічну послідовність виконання операцій.

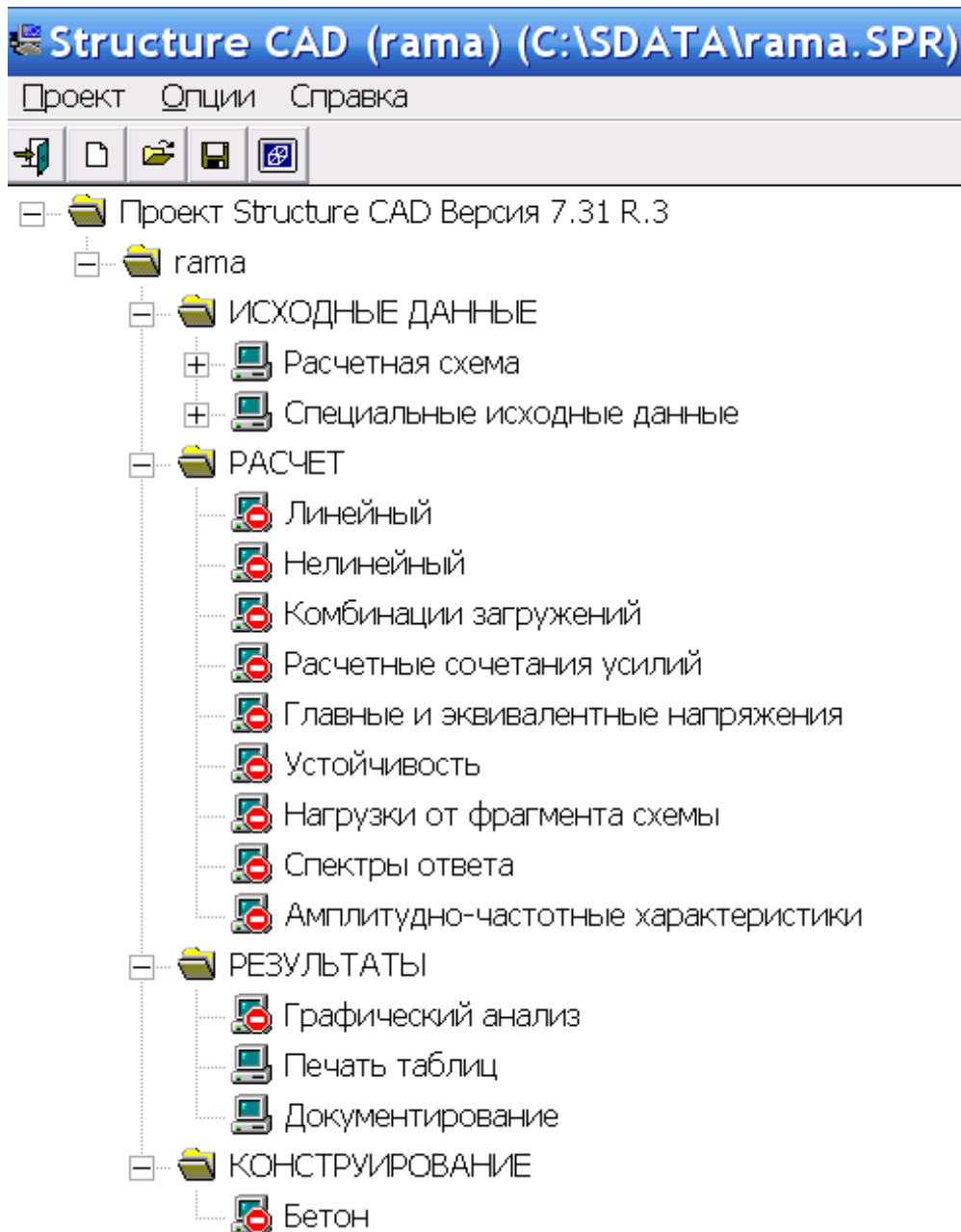


Рис. 1.2. Структура проекту **rama**.

1.4. Процесор і бібліотека скінченних елементів

Високопродуктивний процесор дозволяє розв'язувати задачі статички та динаміки з великою кількістю степенів вільності. Розрахунок супроводжується детальним протоколом, який можна проаналізувати як під час виконання розрахунку, так і після його завершення. Система контролю початкових даних виконує

перевірку розрахункової схеми і фіксує всі виявлені помилки та попередження.

Бібліотека елементів містить різні види стрижневих елементів, включаючи шарнірно-стрижневі, рамні, балкового ростверку на пружній основі, дає змогу враховувати зсув у перерізі стрижня. Пластинчасті елементи, які представлені три- та чотиривузловими елементами плит, оболонки і балок-стінок, можуть містити додаткові вузли на ребрах і забезпечувати розв'язок задач для матеріалів з різними властивостями (з урахуванням ортотропії, ізотропії, анізотропії). Крім того, бібліотека містить різні види об'ємних елементів, набір три- та чотиривузлових багатошарових і осесиметричних скінченних елементів, а також спеціальних елементів для моделювання зв'язків скінченної жорсткості, пружних зв'язків тощо.

1.5. Графічні засоби формування розрахункової схеми

У комплексі **SCAD** реалізовано два види графічних модулів створення розрахункових схем. До них належать традиційний для скінченноелементних систем графічний препроцесор, в якому основним будівельним матеріалом для формування розрахункової схеми є скінченні елементи, і препроцесор **Форум** для формування укрупнених моделей.

У традиційному препроцесорі передбачена широка гама засобів для створення моделей, які включають функції формування схем за параметричними прототипами конструкцій, генерації сіток елементів на площині і в просторі, копіювання фрагментів схем, збирання з підсхем та груп, різноманітні функції геометричного перетворення. У режимі графічного діалогу задаються всі основні параметри схем, включаючи жорсткісні характеристики елементів, умови опирання і примикання, статичні та динамічні навантаження тощо. Графічний інтерфейс максимально наближений до технології створення й модифікації розрахункових схем і враховує особливості обробки інформації цього виду.

До препроцесора включені параметричні прототипи багатопверхових і одноповерхових рам, ферм із різними геометричними обрисами поясів та решіток, балкові ростверки, а також поверхні обертання (циліндр, конус, сфера, тор). У процесі їх формування можуть бути автоматично призначені умови опирання, типи і жорсткості скінченних елементів.

Спеціальними засобами передбачено створення розрахункових моделей, поверхні яких описуються аналітично. Ці

засоби дозволяють автоматично генерувати сітку елементів на поверхні, задану як функція двох змінних.

1.6. Укрупнені розрахункові моделі і зв'язок з іншими системами

Формування розрахункової схеми або її частини може бути виконано і на основі інформації, яка імпортується з таких популярних архітектурних систем, як **AllPLAN**, **Маестро**, **Architectural Desktop** і **ArchiCAD**, системи проектування сталевих конструкцій **Real Steel**, а також за допомогою імпорту файлів у форматах **dxf** і **dwg** системи **AutoCAD**.

Очевидно, що архітектурна модель не може бути повністю автоматично перетворена в розрахункову схему. Це зумовлено наявністю в ній зайвих архітектурних елементів, які не є елементами розрахункової моделі і не впливають на результати розрахунку. Архітектурна модель не містить даних про умови примикання та опирання елементів, навантажень, матеріалів тощо. Доведення отриманої в результаті імпорту моделі до рівня розрахункової схеми є достатньо трудомістким процесом і вимагає певної уважності.

1.7. Групи

Особливу роль під час формування розрахункової схеми і аналізу результатів відіграють групи вузлів і елементів. Групи – це іменовані набори вузлів або елементів, які можуть неодноразово використовуватися для виконання різноманітних операцій. Процес об'єднання об'єктів у групи повністю регулюється користувачем. Це можуть бути характерні ділянки конструкції, наприклад, міжповерхові перекриття, елементи просторового каркаса, стіни тощо. Групи доступні на всіх етапах роботи зі схемою – під час формування моделі, аналізу і документування результатів розрахунку. Графічне середовище побудоване таким чином, що завжди можна локалізувати інформацію в рамках однієї або декількох груп вузлів і елементів.

1.8. Фільтри

Фільтри (рис. 1.3) дозволяють відібрати для відображення необхідну користувачу інформацію про розрахункову схему. При цьому широко застосовуються колірні засоби відображення інформації, які разом із фрагментацією дозволяють добратися до

будь-яких параметрів, незалежно від розміру та складності геометричної схеми моделі.

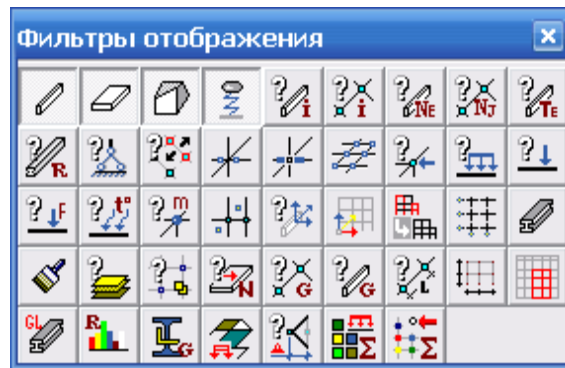









Рис. 1.3. Фільтри відображення.

На рис. 1.3 зображена група кнопок **Фільтра відображення**, які допомагають виконувати такі операції:

-  - відображення стрижнів на розрахунковій схемі;
-  - відображення пластин на розрахунковій схемі;
-  - відображення об'ємних елементів на розрахунковій схемі;
-  - відображення спеціальних елементів;
-  - інформація про елемент. Команда дає змогу отримати таку інформацію про елемент: номер, тип елемента, номер і ім'я типу жорсткості, наявність шарнірів та жорстких вставок у стрижневому елементі, напрямки місцевих осей елементів і осей видачі зусиль у пластинчастих і об'ємних елементах, епюри прогинів та зусиль, поєднання зусиль, арматуру для стрижневих та пластинчастих елементів. Керування цими операціями зосереджене у діалоговому вікні **Інформація про елемент** (рис. 1.4);
-  - інформація про вузол. Команда дозволяє отримати повну інформацію про координати, зв'язки, навантаження, дотичні елементи та переміщення. Керування цими операціями зосереджене у діалоговому вікні **Інформація про вузол** (рис. 1.5);
-  - номери елементів;

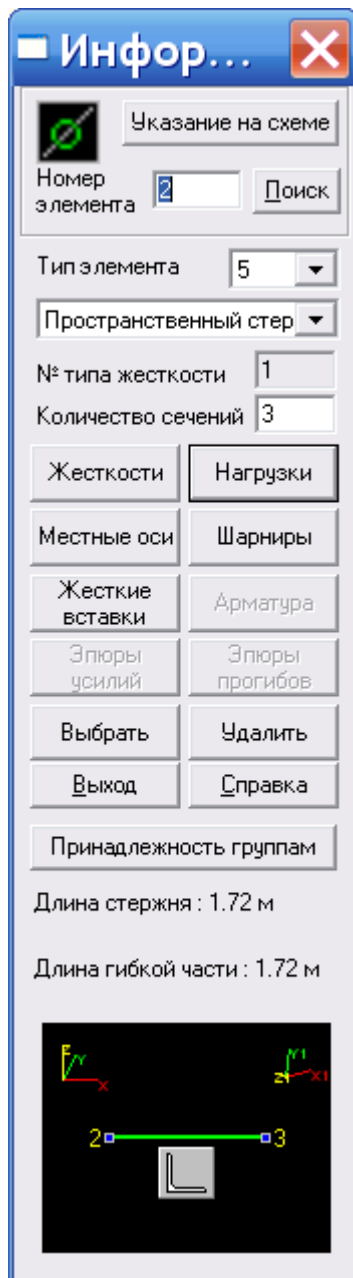


Рис. 1.4. Вікно **Інформація про елемент.**



- номери вузлів;



- типи елементів;



- номери типів жорсткості;



- зв'язки;

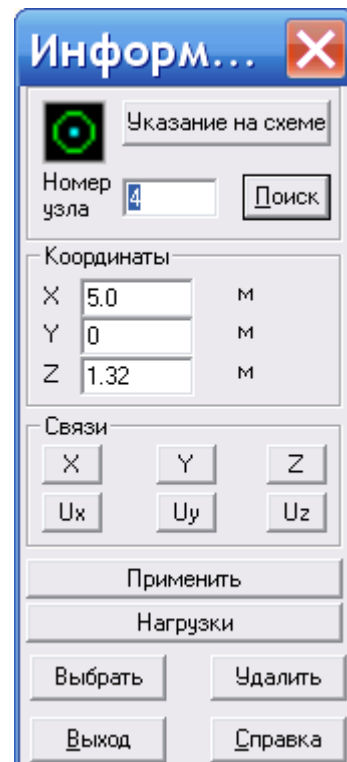


Рис. 1.5. Вікно **Інформація про вузол.**



- відображення об'єднання переміщень;



- шарніри;



- жорсткі вставки;



- вузли. Вузли відображаються на розрахунковій схемі у вигляді обрамлених маленьких квадратиків, колір яких залежить від операції, що виконується. За замовчуванням прийняті такі кольори маркування вузлів: синій – відображення вузлів у початковому вигляді; червоний – вибраний покажчиком мишки вузол у режимі призначення параметрів; жовтий – витертий вузол або вузли, які збігаються; зелений – вибраний вузол у режимі фрагментації. Розмір зображення вузла можна змінити;



- вузлові навантаження;



- розподілені навантаження;



- зосереджені навантаження;



- значення навантажень;



- температурні навантаження;



- інерційні маси;



- віддалені вузли;



- місцеві осі елементів;



- відображення загальної системи координат;










- скидання всіх відміток;



- відображення розбивних осей;



- видалення лінії невидимого контуру;

-  - відновлення початкового стану фільтрів відображення;
-  - показати елементи, які збігаються;
-  - показати вузли, які збігаються;
-  - відображення напряму видачі зусиль;
-  - колірне відображення груп вузлів;
-  - колірне відображення груп елементів;
-  - визначення віддалі між вузлами. За допомогою цієї операції можна визначити віддаль між двома різними вузлами розрахункової схеми. Після активування команди відкривається діалогове вікно **Віддаль між вузлами** (рис. 1.6), в якому відображаються результати вимірювання. Для визначення віддалі між вузлами необхідно вибрати на розрахунковій схемі перший вузол, а потім другий вузол;

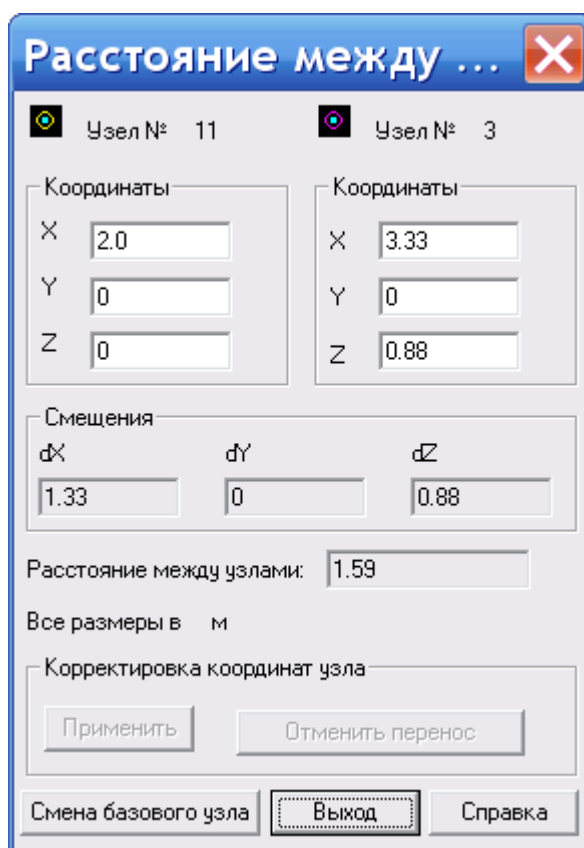











Рис. 1.6. Діалогове вікно **Віддаль між вузлами**.

-  - відображення розмірних ліній;
-  - виклик вікна навігатора;
-  - презентаційна графіка;
-  - спектр жорсткісних характеристик;
-  - відображення груп конструктивних елементів;
-  - індикація кількості навантажень на елементи;
-  - відображення заданих параметрів;
-  - побудова карти розподілених навантажень;
-  - побудова карти вузлових навантажень.

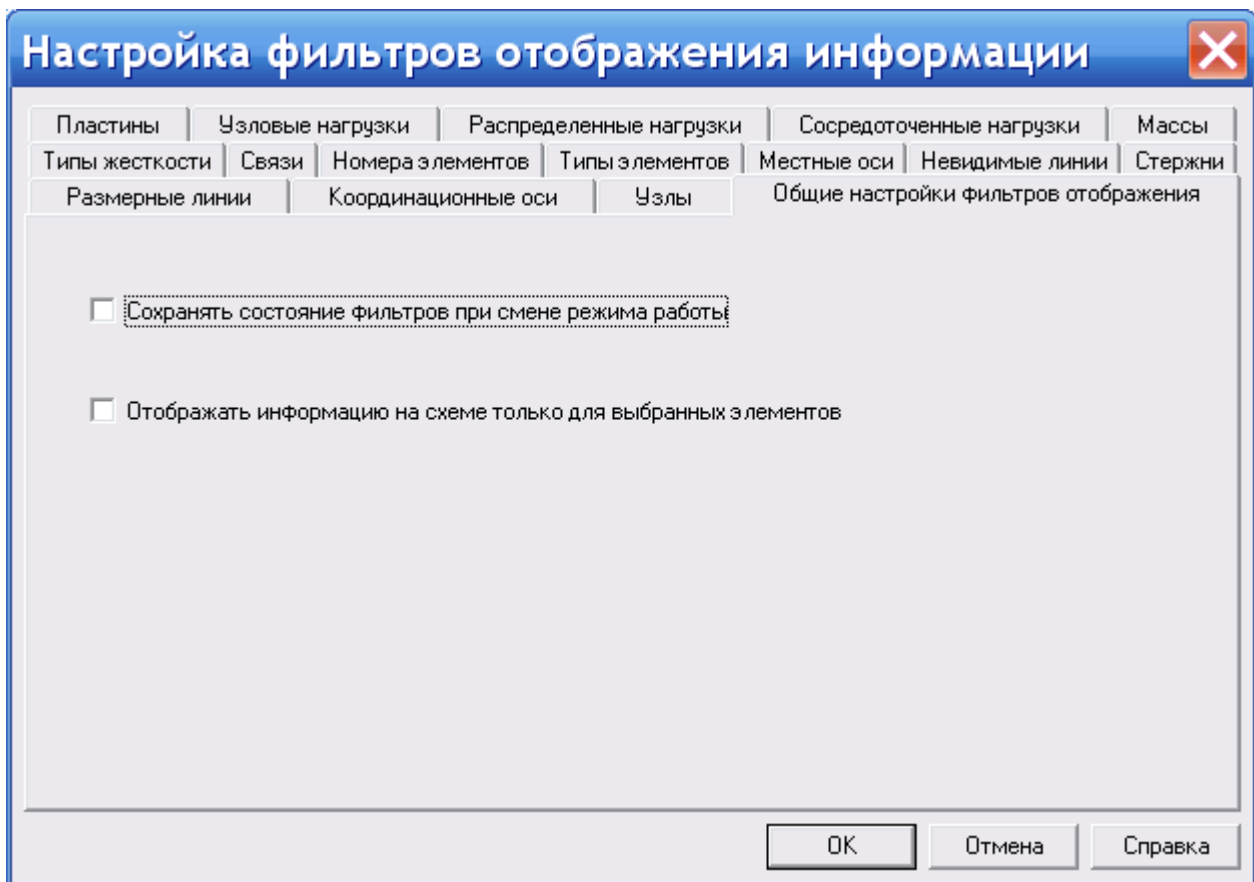


Рис. 1.7. Діалогове вікно **Налаштування фільтрів відображення інформації**.

Фільтри можна налаштовувати під користувача. Для виклику багатосторінкового діалогового вікна **Налаштування фільтрів відображення інформації** (див. рис. 1.7) необхідно зупинитися курсором мишки на панелі **Фільтри відображення** (див. рис. 1.3) і натиснути праву кнопку мишки. Налаштування опцій здійснюється вмиканням або вимиканням ряду різноманітних налаштувань на одноіменних сторінках фільтрів.

1.9. Графічний постпроцесор

Для великих розрахункових моделей існує й проблема аналізу результатів. Для цього в **SCAD** реалізовані системи фрагментації та фільтрів, настроювальні колірні шкали забезпечують оперативний доступ до всіх видів результативної інформації. Результати розрахунку можуть бути представлені у вигляді схем переміщень та прогинів, епюр, ізоліній та ізополів. Одночасно на схему можуть виводитися й числові значення факторів. Для статичних і динамічних навантажень передбачена можливість анімації процесу деформування схеми і запису цього процесу у форматі відеокліпу (AVI). Будь-яка графічна інформація може виводитися на друк або зберігатися у форматі Windows мета файла (WMF). Поряд із результатами розрахунку, засоби графічного аналізу дозволяють відображати на схемі у вигляді епюр (для стрижневих елементів) або ізолінії та ізополя (для пластин) результати роботи модуля підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій, включаючи таку інформацію, як площа арматури в заданому напрямі, ширина розкриття тріщин, відсоток армування тощо. Це наближує форму представлення результатів до звичного для інженера вигляду і створює для нього певні зручності.

1.10. Документування результатів

Модулі документування результатів розрахунку дозволяють формувати таблиці з вихідними даними і результатами у текстовому або графічному форматах, а також експортувати їх в **MS Word** або **MS Excel**. Формування таблиць виконується з урахуванням груп вузлів та елементів, таблиці можна доповнювати коментарями і включати в них графічну інформацію.



2.1. Конструкція і її розрахункова схема

Розрахунковий аналіз будь-якої будівельної конструкції починається зі встановлення елементів, які є важливими, та елементів, якими можна знехтувати. Реальна конструкція, звільнена від усіх несуттєвих особливостей і представлена в певній ідеалізованій формі, має назву **розрахункової схеми**. Варто пам'ятати, що вибір розрахункової схеми є важливим елементом інженерного аналізу. Неправильно визначена, а потім і сформована розрахункова схема будівельної конструкції призводить до отримання неправильних (помилкових) результатів.

Про очікувану поведінку будівельної конструкції роблять висновок на основі набутого інженером досвіду та інженерної інтуїції. Особливості очікуваної поведінки будівельної конструкції впливають на вибір розрахункової схеми, встановлення можливих степенів вільності, схематизації зовнішніх навантажень (зосереджених, рівномірно розподілених, температурних, динамічних тощо), які діють на систему.

Важливим питанням є розбиття створеної системи на скінченні елементи. Надмірно дрібне розбиття призводить до збільшення часу розрахунку і пов'язане із запитом на використання великих ресурсів пам'яті персонального комп'ютера для зберігання та обробки даних. Надто грубе розбиття може призвести до втрати точності результатів. Загальних рекомендацій з оптимального вибору поділу системи на скінченні елементи не існує. Тут потрібно опиратися на досвід та результати деяких контрольних розрахунків на одній і тій же розрахунковій схемі при різних системах розбиття на скінченні елементи.

2.2. Розрахункова схема методу переміщень

В основу алгоритмів, які використовуються в середовищі **SCAD**, покладено метод переміщень, який оперує з **вузлами** та **елементами** розрахункової схеми.

Вузол у розрахунковій схемі методу переміщень подається у вигляді абсолютно жорсткого тіла дуже малих розмірів. Розташування вузла в просторі під час деформації розрахункової

схеми визначається координатами центру і напрямками трьох осей, які жорстко зв'язані з вузлом. Вузол подається як об'єкт, який володіє шістьма степенями вільності – трьома лінійними переміщеннями, які визначаються як різниця координат у деформованому і недеформованому стані, і трьома кутами повороту.

У методі переміщень **елементи** системи (стрижні, пластини, оболонки тощо) приєднуються тільки до вузлів розрахункової схеми.

Усі вузли й елементи розрахункової схеми нумеруються (рис. 2.1).

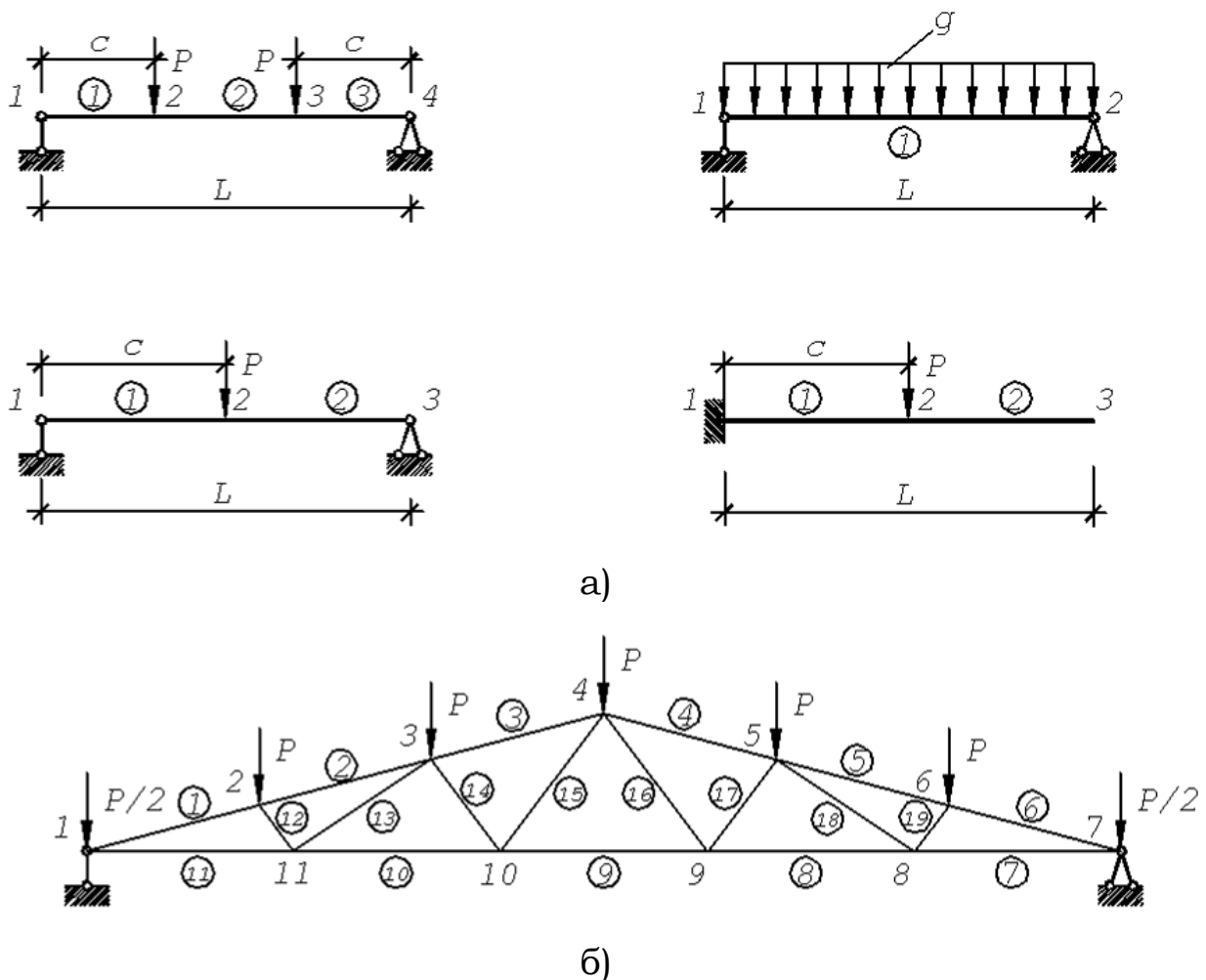


Рис. 2.1. Приклади нумерування вузлів та елементів (стрижнів) розрахункових схем: а) балки; б) ферми.

2.3. Основні та додаткові невідомі

Основна система методу переміщень вибирається, як правило, за допомогою накладання у кожному вузлі всіх зв'язків, які забороняють будь-які вузлові переміщення. Умова рівності нулю зусиль у цих зв'язках являє собою розв'язуюче рівняння

рівноваги, а зміщення вказаних зв'язків – основні невідомі методу переміщень.

У звичайних просторових конструкціях у вузлі можуть бути присутніми всі шість зміщень:

X – лінійне переміщення вздовж осі X ;

Y – лінійне переміщення вздовж осі Y ;

Z – лінійне переміщення вздовж осі Z ;

U_x – кут повороту з вектором уздовж осі X (поворот навколо осі X);

U_y – кут повороту з вектором уздовж осі Y (поворот навколо осі Y);

U_z – кут повороту з вектором уздовж осі Z (поворот навколо осі Z).

2.4. Зовнішні та внутрішні зв'язки

Залежно від конструктивної схеми на деякі з вузлових переміщень можуть бути накладені певні обмеження (монозв'язки) (наприклад, $X=0$ або $U_y=0$). Під час формування розрахункової схеми користувачу слід остерігатися пропуску зв'язків, які в майбутньому можуть призвести до появи геометричної змінності системи. Система **SCAD** у процесі розрахунку здійснює контроль розрахункової схеми на предмет її геометричної змінності і в разі виявлення здійснює редагування розрахункової схеми накладанням додаткових зв'язків. Проте користувачу належить уважно звертати увагу на запропоновану системою редакційну правку, бо вона не завжди може задовольняти вимоги розрахункової схеми.

Розрахунок геометричної схеми, на яку накладені монозв'язки, достатньо простий – відповідні вузлові переміщення виключаються з числа основних невідомих.

2.5. Групи, підсхеми, суперелементи

Бувають випадки, коли розрахункову схему можна подати у вигляді об'єднаних різноманітних фрагментів, кожен із яких розглядають як окреме ціле. Такі іменовані фрагменти називаються **групами**. Групами можуть бути функціонально пов'язані між собою частини системи (стіни, перекриття, фундаменти тощо). Можна створювати також групи із будь-яких компонентів розрахункової моделі (вузлів, елементів, навантажень тощо).

Фрагменти, представлені як самостійні розрахункові схеми, називаються **підсхемами**. Вони мають усі риси розрахункової

схеми, складаються з вузлів та елементів, мають зв'язки, шарніри тощо. При створенні розрахункової системи, до складу якої входять підсхеми, працюють як з одним цілим.

Підсхема, яка використовується не тільки для введення інформації, але й під час організації обчислювального процесу, називається **суперелементом**. Суперелементне моделювання доцільно використовувати в тих випадках, коли один і той самий суперелемент входить до складу розрахункової схеми декілька разів.

2.6. Навантаження і впливи

Взаємодія розрахункової схеми з навколишнім середовищем, як правило, подається у вигляді навантажень або впливів, які прикладені до вузлів розрахункової схеми (вузлові навантаження) або до внутрішніх точок її скінченних елементів (місцевих навантажень). Місцеві навантаження можуть бути силами та моментами, зосередженими або розподіленими по лінії, площі та об'єму. Інколи завантаження розрахункової схеми подається у формі температурних впливів на елементи або наперед задані зміщення у вузлах.

У практиці проектування використовують нормативні та розрахункові значення навантажень. Перехід від одних до інших виконується за допомогою коефіцієнтів надійності за навантаженням. Нормативні навантаження використовуються для перевірки другого граничного стану, розрахункові навантаження – для перевірки першого граничного стану. У комплексі **SCAD** за замовчуванням пропонується, що навантаження задаються своїми розрахунковими значеннями.

Сукупність навантажень і впливів, одночасно прикладених до розрахункової схеми, називається її завантаженням.

Оскільки завантаження можуть у різні моменти часу утворювати різні комбінації і можливе число таких комбінацій (поєднань) достатньо велике, виникає задача пошуку таких поєднань зовнішніх навантажень, які призводять до найбільш несприятливого наслідку для деякого елемента або його перерізу. У цьому випадку є потреба в пошуку розрахункового поєднання зусиль (РПЗ).

Визначити РПЗ – означає знайти ті поєднання окремих завантажень, які можуть бути вирішальними (найбільш небезпечними) для кожного елемента або його перерізу, який перевіряється. Основою вибору невідгидних розрахункових поєднань зусиль слугує принцип суперпозиції, що передбачає виконання розрахунків, як для лінійно працюючої системи.



3.1. Мишка та клавіатура



З мишкою знайомі всі користувачі **Windows**. Широке розповсюдження маніпуляторів такого типу пояснюється тим, що ввести будь-що з клавіатури досить просто, але вказати точку на екрані монітора і натиснути кнопку – ще легше.

Як правило, мишка має дві або три кнопки. На комп'ютерах із системою **Windows** переважно використовують двокнопкову мишку.

Мишка використовується для задання точок і геометричних об'єктів на екрані монітора або вибору пунктів меню. Переміщенням мишки покажчик (курсор) поміщається у потрібне положення, а короткочасне натискування лівої кнопки мишки (клацання нею) підтверджує вибір пункту меню, точки або об'єкта. При переміщенні мишки по робочому полі і діалогових вікнах рухається покажчик, форма якого змінюється залежно від контексту.

Алфавітно-цифрова клавіатура використовується для введення команд, текстів, числових значень координат точок, забезпечує виклик функцій “гарячих клавіш”.

3.2. Курсори

У комплексі використовуються чотири типи курсорів:



- стандартний курсор – для вибору функції, режиму або операції;



- перехрестя із центральною мішенню – для вибору одного вузла або елемента;



- перехрестя із зображенням прямокутника – для вибору групи вузлів або елементів за допомогою рамки прямокутної форми;



- перехрестя із зображенням довільного багатокутника – для вибору групи вузлів або елементів за допомогою рамки довільної форми.

У тих випадках, коли виконувана операція триває довго, на екран виводиться курсор «очікування» – пісочний годинник. Після завершення операції повертається попередній курсор.

3.3. Вікна

Екран монітора (рис. 3.1) відображає меню, панелі інструментів, робоче поле, лінії й надписи, створені користувачем, розташування піктограми системи координат користувача і допоміжну фонову сітку.

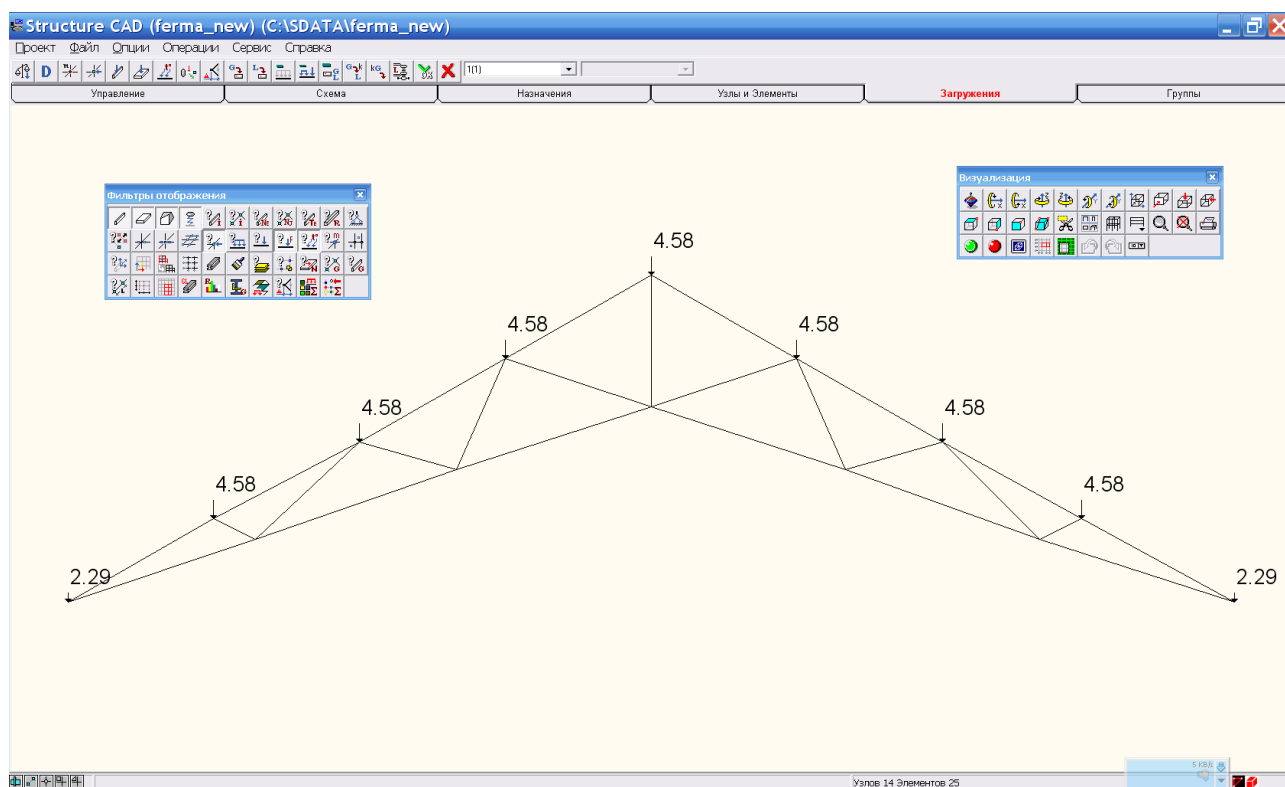


Рис. 3.1. Вікно програми.

У процесі роботи з обчислювальним комплексом використовуються вікна чотирьох основних типів:

- управління проектом;
- препроцесора;
- постпроцесора;
- процесора.

Залежно від призначення вікна відрізняються набором елементів керування.

3.4. Меню

Меню розташоване у верхній частині вікна **SCAD** під заголовком і містить розділи, набір яких залежить від встановленого режиму роботи.

3.4.1. Меню вікна Керування проектом

Меню вікна **Керування проектом** (рис. 3.2) складається із трьох розділів: **Проект**, **Опції**, **Довідка**.

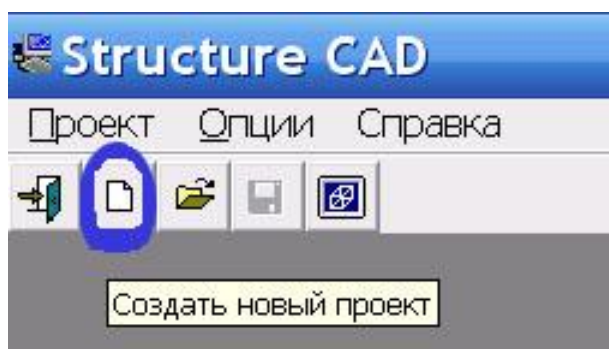


Рис. 3.2. Меню вікна **Керування проектом**.

3.4.2. Розділ Проект

Розділ **Проект** охоплює такі операції (рис. 3.3):

Новий проект – створення нового проекту;

Відкрити проект – читання раніше створеного проекту;

Прочитати проект із текстового формату (DOS) – завантаження файлу початкових даних, створеного засобами операційної системи DOS;

Прочитати проект із текстового формату (Windows) – завантаження файлу початкових даних, створеного засобами операційної системи Windows;

Імпорт – завантаження схеми, створеної іншими додатками (AutoCAD, 3D Studio Max та ін.);

Зберегти проект – записати проект у файл, без зміни імені файла;

Зберегти проект як ... – записати проект у файл із новим іменем;

Зберегти дані у вигляді тексту – перетворення даних із внутрішніх форматів проекту в текстовий файл у форматі вхідної мови (отриманий файл вважається створений засобами Windows);

Закрити проект – закриття поточного проекту;

Проект	Опции	Справка
Новый проект		Ctrl + N
Открыть проект		Ctrl + O
Прочитать проект из текстового формата(DOS)		Ctrl + I
Прочитать проект из текстового формата(Windows)		
Импорт		
Экспорт в DXF-файл		
<hr/>		
Сохранить проект		Ctrl + S
Сохранить проект как...		
Сохранить данные в виде текста		Ctrl + E
Закрыть проект		
<hr/>		
Комментарии к проекту		
<hr/>		
Переслать...		
<hr/>		
Выход		Ctrl + X
<hr/>		
C:\SDATA\rama.SPR		
C:\SDATA\balka_1.SPR		
C:\SDATA\ferma_new.SPR		
C:\SDATA\Брюховичі_2014.SPR		
C:\SDATA\Рама_Вокзал_2014.SPR		

Рис. 3.3. Операції меню **Проект**.

Коментарі до проекту – збереження поточного стану проекту з коментарями;

Переслати – відправлення проекту електронною поштою;

Вихід – завершення роботи з програмою.

У нижніх рядках меню записані імена файлів останніх п'яти проектів, з якими працював користувач. У тих випадках, коли передбачається робота з одним із цих проектів, достатньо вибрати його з меню.

3.4.3. Розділ Опції

Розділ **Опції** передбачає такі операції (рис. 3.4):

Одиниці виміру – встановлення одиниць виміру. Призначення одиниць виміру початкових величин може бути виконане тільки під час створення проекту. В інших випадках – це лише інформація про виконані налаштування;

Установки принтера – стандартна процедура Windows для вибору типу принтера і призначення характеристик;

Призначення робочих директорій – ця операція відкриває діалогове вікно **Призначення робочих директорій SCAD**, яке дозволить вказати імена каталогів, звідки необхідно взяти проект і куди потрібно поміщати робочі файли та результати.

Змінити призначення каталогів можна тільки за умови, що жоден із проектів не активний, тобто перед викликом операції потрібно попередньо закрити активний проект (операція **Закрити проект** у меню **Проект**);

Каталоги металопрокату – викликає діалогове вікно **Каталоги перерізів**, в якому виконується вибір доступних для подальшої роботи з проектом каталогів прокатних профілів із списку каталогів, що входять до бази даних **SCAD**;

Норми проектування – дозволяє призначити норми, за якими буде виконуватися проектування сталевих та залізобетонних конструкцій;

Ідентифікаційні дані проекту – відкривається діалогове вікно **Ідентифікація проекту**, в якому можна ввести або замінити раніше введену інформацію про проект;

Налаштування графічного середовища – відкриває діалогове вікно, в якому призначаються параметри графічного середовища. Вони передбачають встановлення або відключення режиму роздільного відображення пластинчастих елементів, призначення відступів між кінцем елемента та вузлом під час об'ємного відображення профілів стрижневих елементів, необхідності штрихування розподіленого навантаження на стрижневий елемент, призначення точності оцінки вузлів, які збігаються, визначення кількості значущих цифр під час графічного відображення результатів розрахунку, налаштування параметрів управління анімацією переміщення вузлів за результатами статичного та динамічного розрахунків тощо;

Налаштування колірної палітри – викликає багатосторінкове діалогове вікно **Налаштування колірної схеми**, в якому призначається колір відображення всіх атрибутів і об'єктів розрахункової схеми, схем завантаження, результатів розрахунку тощо;

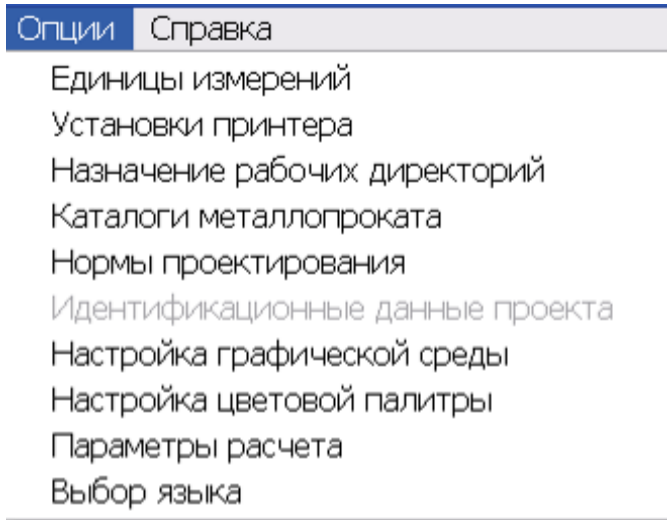


Рис. 3.4. Команди меню **Опції**.

Параметри розрахунку – викликає одноіменне діалогове вікно налаштування параметрів розрахунку, які запам'ятовуються і будуть використовуватися під час виконання розрахунку поточного проекту;

Вибір мови – призначає в одноіменному діалоговому вікні мови інтерфейсу (середовища користувача) і видачу результатів розрахунку.

3.4.4. Розділ Довідка

Розділ **Довідка** (рис. 3.5) містить пункти меню, які дають змогу отримати довідкову інформацію про комплекс у цілому і детальну інформацію про підготовку початкових даних, читання результатів, управління режимами тощо. Крім того, у цьому розділі виконується перереєстрація – введення нового коду ключа захисту.

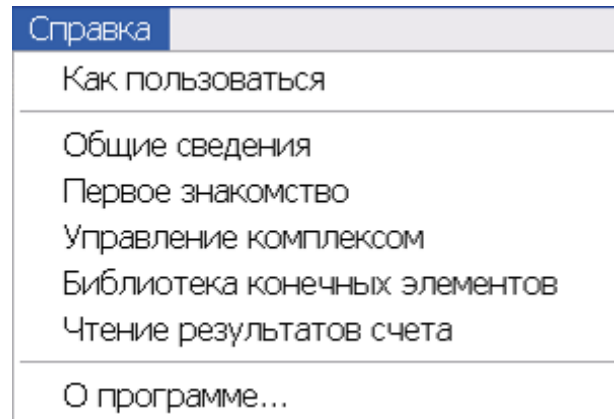


Рис. 3.5. Команди меню **Довідка**.

3.5. Система координат

Система координат – фіксована система, яка містить точку – початок координат і зв'язані з нею осі для визначення розташування об'єктів у просторі.

У пакеті SCAD застосовується тривимірна прямокутна декартова система координат. За використання цієї стандартної системи точка розміщується у тривимірному просторі безпосередньо через встановлення відстані і напряму від встановленого початку відліку, який вимірюється за трьома ортогональними осями (**X**, **Y**, **Z**). Система визначення координат не залежить від одиниць виміру, які використовуються. Початок відліку пропонується в точці (0, 0, 0). Додатний напрям осі абсцис (вісь **X** системи координат) і осі ординат (вісь **Z** системи координат) відповідають напрямку стрілок піктограми. Вісь **Y** спрямована від площини екрана монітора в його глибину.



4.1. Завантаження програми

Починаємо роботу з кнопки **ПУСК**. Знаходимо кнопку **Всі програми**, вибираємо **SCAD Office**, потім **SCAD**. Для того щоб розпочати роботу з програмою, необхідно встановити курсор на піктограмі **SCAD** і двічі натиснути ліву кнопку мишки. Відкриється вікно програми **Structure CAD** (рис. 4.1).

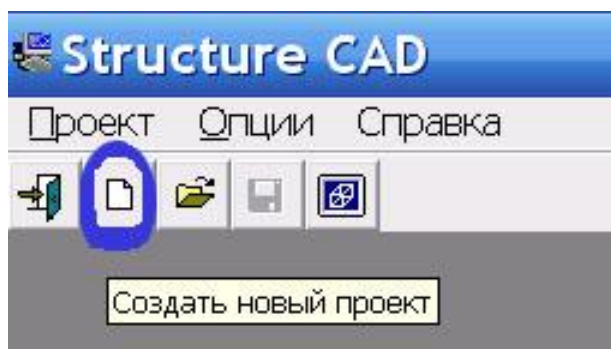







Рис. 4.1. Вікно програми SCAD.

Інструментальна панель вікна містить п'ять кнопок. Чотири перші кнопки дублюють аналогічні функції розділу меню **Проект**, дозволяючи виконувати відповідні операції коротшим шляхом.

-  - завершення роботи;
-  - створення нового проекту;
-  - відкриття раніше створеного проекту;
-  - збереження проекту;
-  - повноекранний режим.

Для створення нового проекту встановіть курсор мишки на піктограму **Створити новий проект** (див. рис. 4.1).

Програма відкриє вікно **Новий проект**, де можна зараз нічого не змінювати. Вибираємо кнопку **ОК** (рис. 4.2).

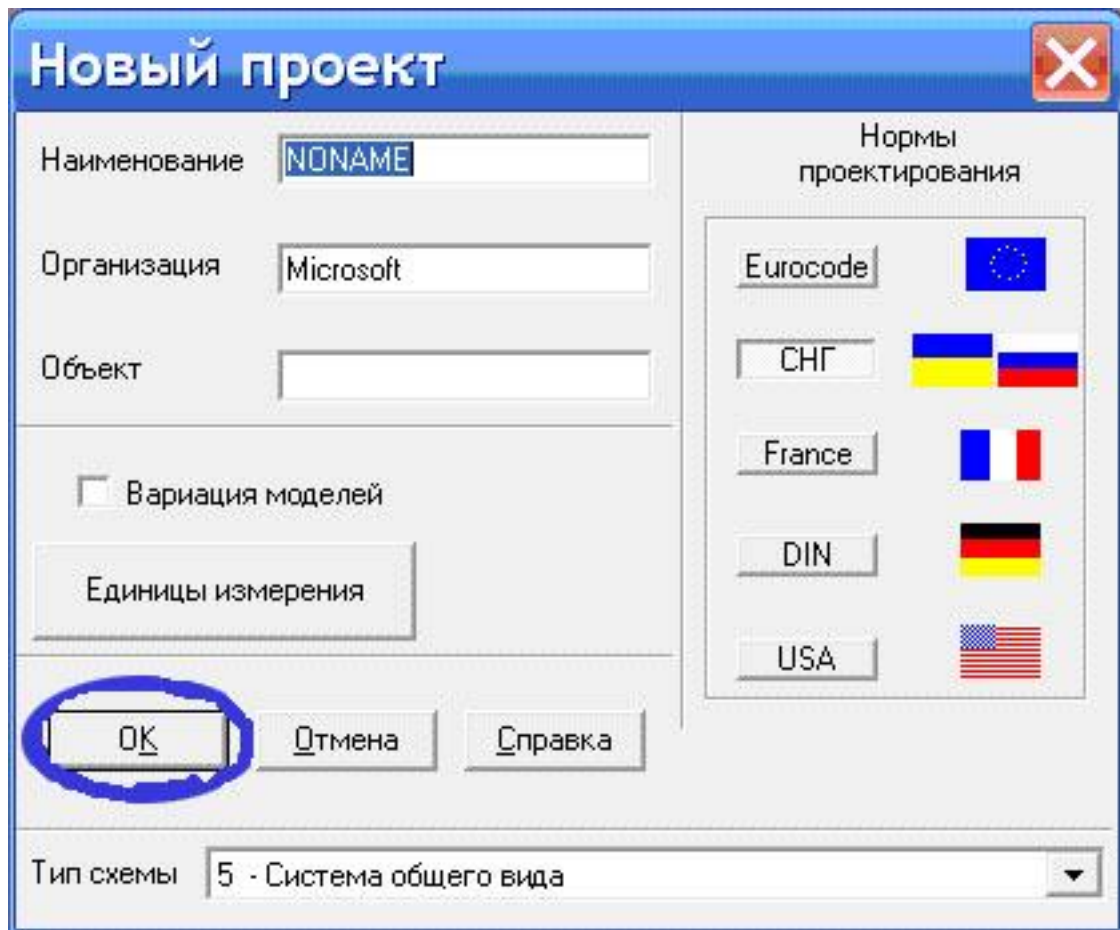


Рис. 4.2. Диалогове вікно **Новий проект**.

У діалоговому вікні **Новий проект** задається інформація про проект: назва, об'єкт, замовник тощо, а також призначається тип розрахункової схеми. Диалогове вікно **Новий проект**, як і більшість інших діалогових вікон, містить три командні кнопки: **ОК**, **Відміна** і **Довідка**:

ОК – закриває діалогове вікно з автоматичним збереженням усієї введеної інформації;

Відміна – закриває діалогове вікно без збереження введеної інформації;

Довідка – відкриває доступ до довідкової інформації.

Кнопка **Одиниці вимірювання** використовується в тих випадках, коли одиниці вимірювання, які передбачається використовувати під час підготовки вихідних даних і виконання наступного розрахунку, відрізняються від встановлених за замовчуванням.

Тип схеми визначає склад і максимальну кількість степенів вільності у вузлах розрахункової схеми і характеризує особливості її напружено-деформованого стану. Призначений тип схеми повинен охоплювати всі необхідні степені вільності для використаних у схемі скінченних елементів. За замовчуванням

встановлюється **тип 5 – система загального виду**, в якій кожен вузол має шість степенів вільності: переміщення **X, Y, Z** і кути повороту **U_x, U_y, U_z** .

Діалогове вікно **Новий проект** використовується для налаштування програми перед початком роботи над проектом. Після натиску кнопки **ОК** на екрані з'явиться стандартне вікно **Створення нового проекту SCAD**, в якому обов'язково потрібно задати ім'я файлу нового проекту (наприклад, *rama*) (рис. 4.3). Це ім'я буде присвоєно не тільки файлу проекту, а й усім службовим файлам, а також файлам з результатами розрахунку. Файл матиме розширення **.SPR**. Після введення імені файлу потрібно натиснути кнопку **Зберегти**.

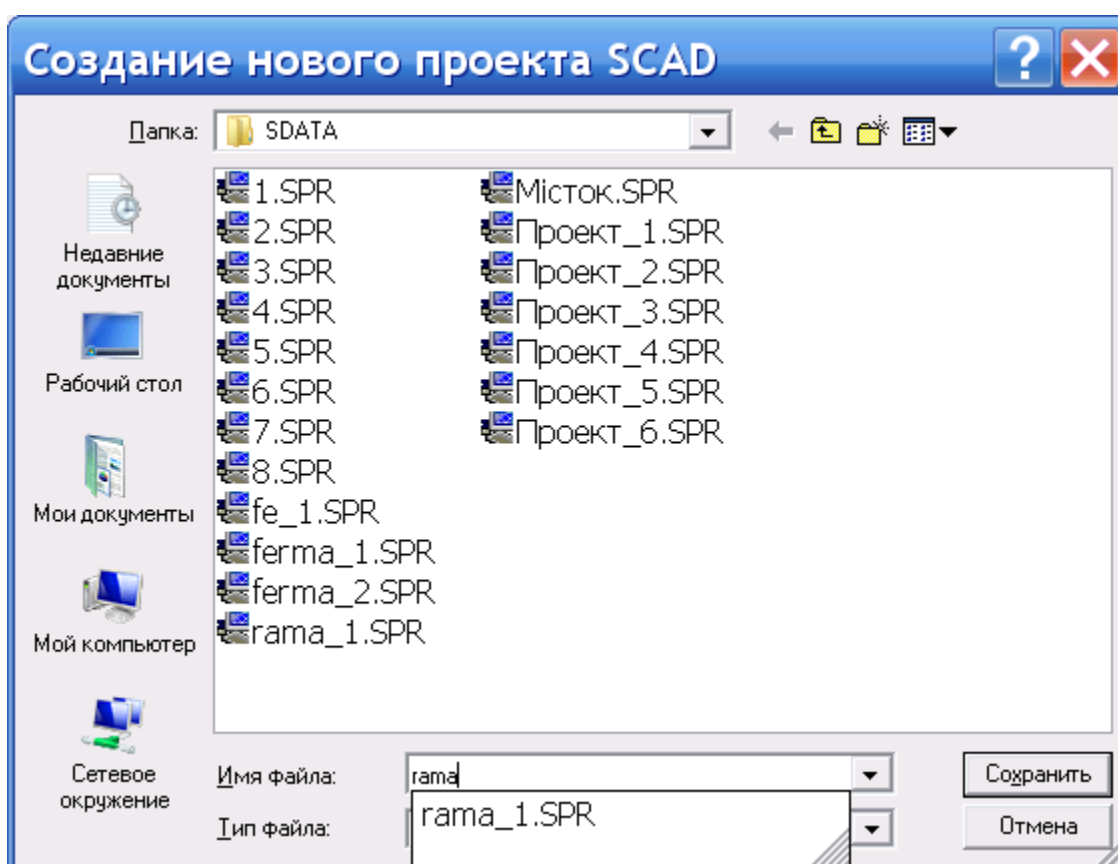


Рис. 4.3. Діалогове вікно **Створення нового проекту SCAD**.

Після невеликої паузи, пов'язаної з реєстрацією нового проекту в **SCAD**, управління передається **Дереву проекту** (рис. 4.4), яке містить чотири розділи першого рівня, які є фактичними етапами розв'язку задачі: **Початкові дані**, **Розрахунок**, **Результати** і **Конструювання**.

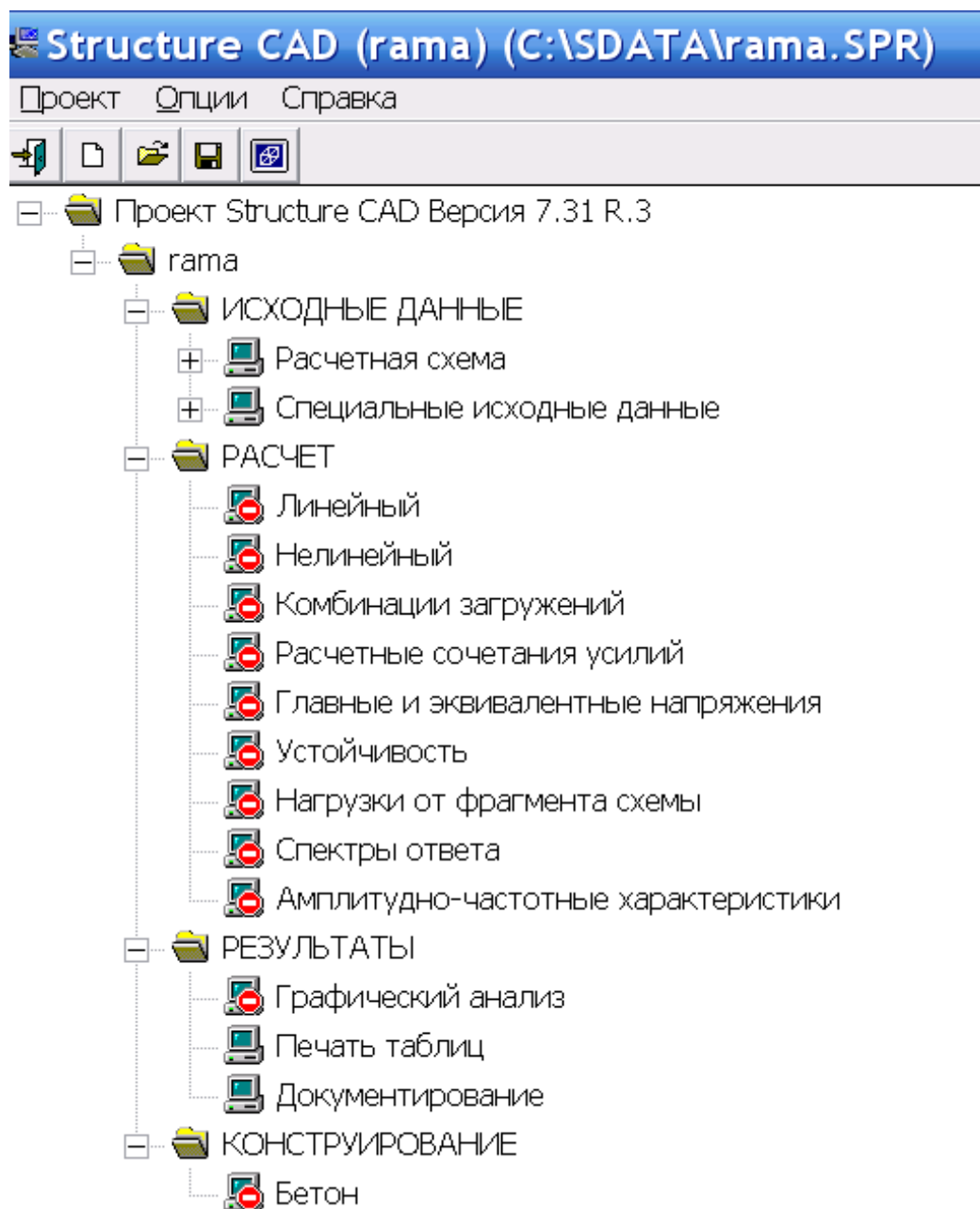


Рис. 4.4. Дерево проекту.

Дерево проекту відображає стан проекту, наявність або відсутність у проекті відповідного виду даних, а також доступних функцій, наприклад, розрахунку або аналізу даних. Звідси можна завантажити будь-яку функцію – ввід даних, розрахунок або графічний аналіз результатів (для цього достатньо встановити курсор на назву відповідної гілки і натиснути ліву кнопку мишки). Крім того, дерево проекту ілюструє структуру комплексу.

4.2. Формування розрахункової схеми

Роботу зі створення нового проекту починають із формування розрахункової схеми. Для цього потрібно встановити курсор на розділ **Розрахункова схема** з каталогу **Початкові дані** у дереві проекту і натиснути ліву кнопку мишки. Управління буде передано графічному препроцесору, який має спеціальний набір функцій для формування довільної розрахункової схеми. При цьому відкриється вікно створення та редагування розрахункової схеми з такими вкладками: **Керування**, **Схема**, **Призначення**, **Вузли і елементи**, **Завантаження**, **Групи** (рис. 4.5). Інструментальна панель препроцесора містить різноманітні функції створення геометрії схеми, призначення граничних умов, навантажень тощо.

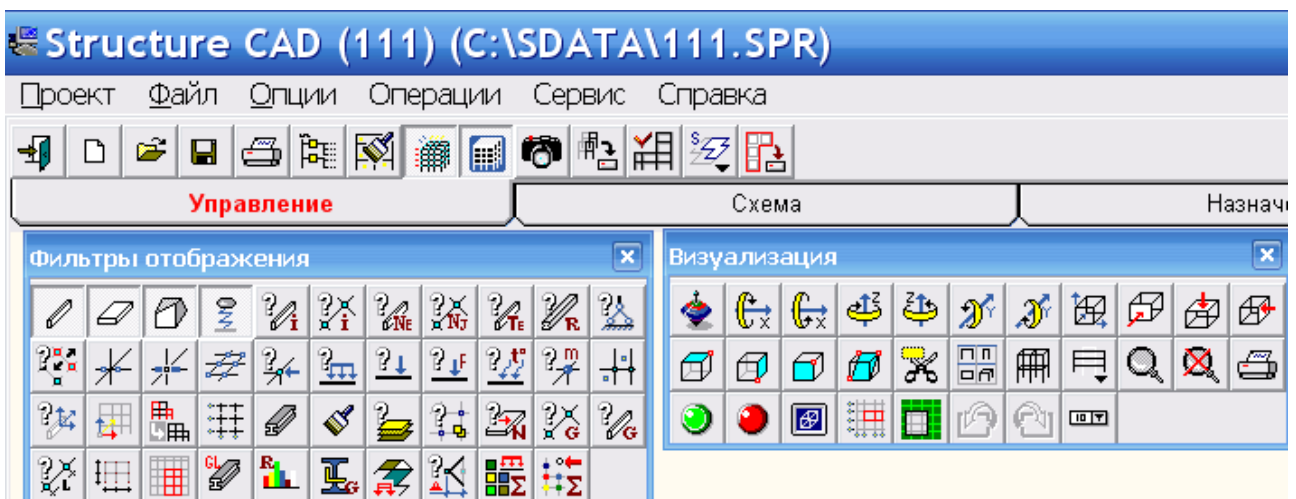


Рис. 4.5. Діалогове вікно графічного препроцесора.

Після старту препроцесора в інструментальній панелі буде активний розділ **Управління** (див. рис. 4.5). У цьому розділі розташовані чотири кнопки, які дублюють однойменні операції меню **Проект**, а також додаткові кнопки:



Друкувати – забезпечує вивід на принтер встановленого на екрані зображення схеми;

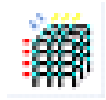


Вихід до Дерева проекту – після натиску цієї кнопки препроцесор закривається і управління передається Дереву проекту;



Виключення з проекту витертих вузлів та елементів – використовується в тих випадках, коли робота із створення схеми завершена і немає необхідності зберігати інформацію про витерті вузли та елементи.

Після активації цієї функції всі витерті об'єкти зі схеми виключаються, а ті, що залишилися, отримують нові номери (Пакування даних);



Показати / сховати фільтри – натиском цієї кнопки можна сховати або показати панель з фільтрами;



Показати / сховати панель управління візуалізацією – натиском цієї кнопки можна сховати або показати панель управління візуалізацією;



Збереження образу екрану – після активації цієї функції поточне зображення схеми зберігається у форматі Windows мета файла (у файлі з розширенням **.wmf**). Отримане зображення можна розмістити у звіт з результатами розрахунку;



Збереження фрагмента схеми – дозволяє зберегти видимий на екрані фрагмент розрахункової схеми у вигляді самостійного проекту;



Експрес-контроль розрахункової схеми – здійснює контроль розрахункової схеми в процесі підготовки вихідних даних;



Визначення площі полігону – визначає площу полігону, заданого на плоскому фрагменті розрахункової схеми;



Експорт полігону з виділених пластин – полігон, який обмежує вибрані пластинчаті елементи, експортується в спеціальний формат у файли з розширенням **.con** і може бути завантажений у програми **Консул** і **Крос**.

4.2.1. Вкладка Вузли та елементи

Побудову розрахункової схеми розпочинають із вкладки **Вузли та елементи**. Ця вкладка має дві розсувні піктограми – **Вузли** та **Елементи** (рис. 4.6).

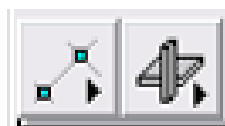


Рис. 4.6. Розсувні піктограми **Вузли** та **Елементи**.

Вибираємо піктограму **Вузли**, яка відкриває (розсуває) набір піктограм для роботи з вузлами (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Піктограми для роботи вузлами.

На рис. 4.7 зображена група кнопок режиму **Вузли**, які допомагають виконувати такі операції:

-  - видалення вузлів;
-  - відновлення видалених вузлів;
-  - введення вузлів;
-  - введення додаткових вузлів між вузлами;
-  - перенесення вузлів;
-  - об'єднання вузлів, які збігаються;
-  - генерація вузлів по дузі;
-  - перенесення початку координат;
-  - введення вузлів на задану віддаль від виділених;
-  - заміна вузла в елементах;
-  - виділення (вибір) вузла;
-  - генерація вузлів у точках перетину розбивних осей;
-  - пакування даних;
-  - генерація вузлів за формулою;



- перенесення вузлів на задану площину;



- підтвердження;



- відмова.

Вибираємо піктограму **Введення вузлів**. При цьому відкриється діалогове вікно **Введення вузлів** (рис. 4.8).

Ввод узлов

X 0 м dX 0 м
Y 0 м dY 0 м
Z 0 м dZ 0 м
 Повторить N 0

Для отображения введенных узлов нажмите кнопку Узлы

Автоматический перенос начала координат в последний введенный узел

Изменение направления ввода
Угол поворота
 Вокруг оси X Вокруг оси Y Вокруг оси Z град

Рис. 4.8. Діалогове вікно **Введення вузлів**.

У полі **X** (горизонтальна вісь) та **Z** (вертикальна вісь) потрібно ввести значення координат першої точки з розрахункової схеми конструкції. Після цього вибрати кнопку **Додати**. Точка повинна з'явитися на екрані редактора. Введення точок за координатами потрібно повторювати доти, доки не буде введено останньої точки розрахункової схеми. Після цього потрібно вибрати кнопку **Закрити**. Звертаємо увагу, що координати вузлів вводяться у метрах!

У вкладці **Вузли та елементи** вибираємо піктограму **Елементи**, яка відкриває (розсуває) набір піктограм для роботи зі стрижнями (рис. 4.9). Вибираємо піктограму **Додати стрижні**. Курсором мишки на робочому полі (поле, як правило, чорного

кольору) потрібно послідовно з'єднати точки між собою так, як це необхідно за розрахунковою схемою.

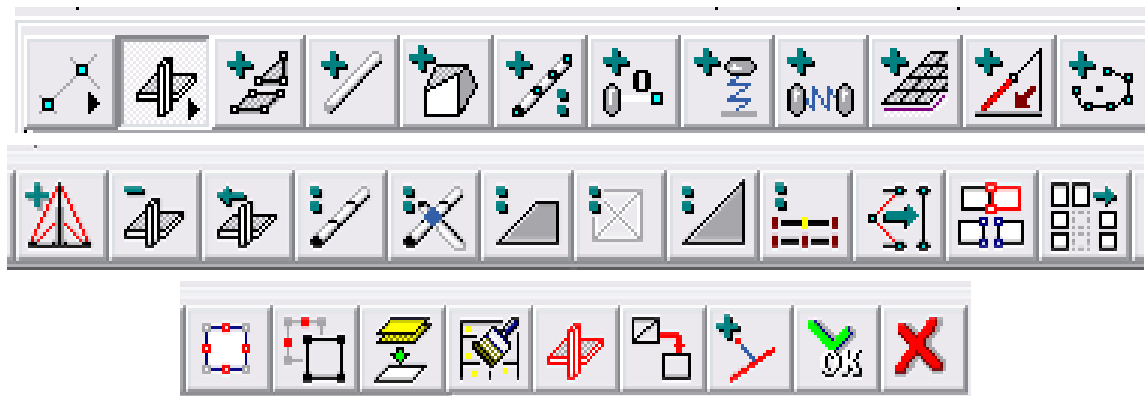
























Рис. 4.9. Піктограми для роботи з елементами.

На рис. 4.9 зображена група команд вкладки **Елементи**, які допомагають виконувати такі операції:

-  - додавання пластин;
-  - додавання стрижнів;
-  - додавання об'ємних елементів;
-  - додавання стрижнів з урахуванням проміжних вузлів;
-  - введення нуль-елементів;
-  - введення зв'язків скінченної жорсткості;
-  - введення пружних зв'язків;
-  - введення законтурних елементів плити;
-  - введення і призначення параметрів односторонніх зв'язків;
-  - генерація елементів за дугою;
-  - введення вантових елементів;
-  - витирання елементів;

-  - відновлення витертих елементів;
-  - розбивання стрижнів;
-  - дроблення стрижнів у точці перетину;
-  - дроблення чотиривузлових пластин;
-  - дроблення чотиривузлових пластин на тривузлові;
-  - дроблення тривузлових пластин;
-  - дроблення стрижнів з урахуванням проміжних вузлів;
-  - об'єднання стрижнів;
-  - розділення елементів;
-  - зсув елементів;
-  - приєднання додаткових вузлів до елементів;
-  - від'єднання додаткових вузлів від високоточних елементів;
-  - об'єднання елементів, які збігаються;
-  - виділення елементів;
-  - пакування даних;
-  - об'єднання тривузлових елементів у чотиривузлові;
-  - побудова стрижня, перпендикулярного вибраному;
-  - підтвердження;
-  - відмова.

4.3. Формування зовнішнього навантаження

Для прикладення зовнішнього зосередженого навантаження на вузол чи рівномірно розподіленого навантаження на стрижень вибираємо вкладку **Завантаження**, яка сформує свій набір піктограм (рис. 4.10).

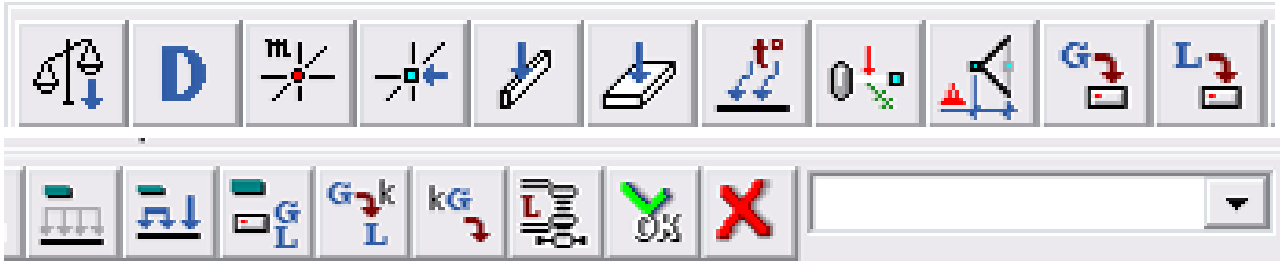











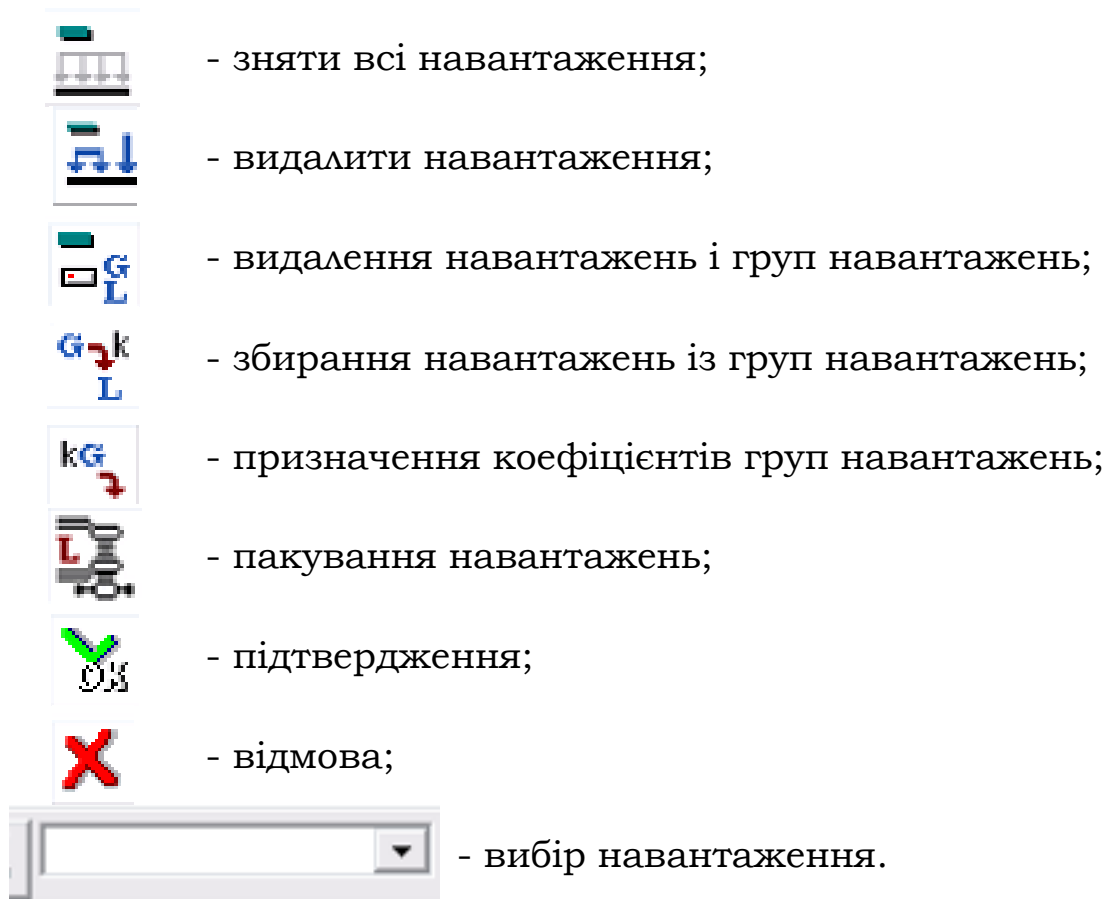


Рис. 4.10. Піктограми вкладки **Завантаження**.

На рис. 4.10 зображена група команд вкладки **Завантаження**, які допомагають виконувати такі операції:

-  - власна вага;
-  - динамічний вплив;
-  - інерційні характеристики;
-  - вузлові навантаження;
-  - навантаження на стрижні;
-  - навантаження на пластини;
-  - формування температурних навантажень;
-  - розрахунок на задані переміщення 154 елементів;
-  - розрахунок на задані переміщення у вузлах;
-  - додати групу навантаження;
-  - зберегти / додати навантаження;



При виборі піктограми **Вузлові навантаження** відкриється діалогове вікно **Вузлові навантаження** (рис. 4.11). У полі **Z** необхідно ввести значення зосередженої сили. Звертаємо увагу, що вона зараз у тоннах!

У разі вибору піктограми **Навантаження на стрижні** відкриється діалогове вікно **Формування навантажень на стрижневі елементи** (рис. 4.12).

У полі **Z** необхідно ввести значення рівномірно розподіленого навантаження. Звертаємо увагу, що воно зараз у тоннах на метр (т/м).

В обох випадках після введення величини зовнішнього зусилля у вікнах, що відкрилися, вибираємо кнопку **ОК**. Вікно закриється, а ми повернемося до вікна графічного редактора (чорне поле), де курсором мишки потрібно вибрати елемент (точку чи стрижень) на розрахунковій схемі, до якого необхідно прикласти дане зовнішнє навантаження. Для завершення вибору точки чи стрижня необхідно активувати піктограму **ОК** (Підтвердження) на панелі піктограм вкладки **Завантаження**.

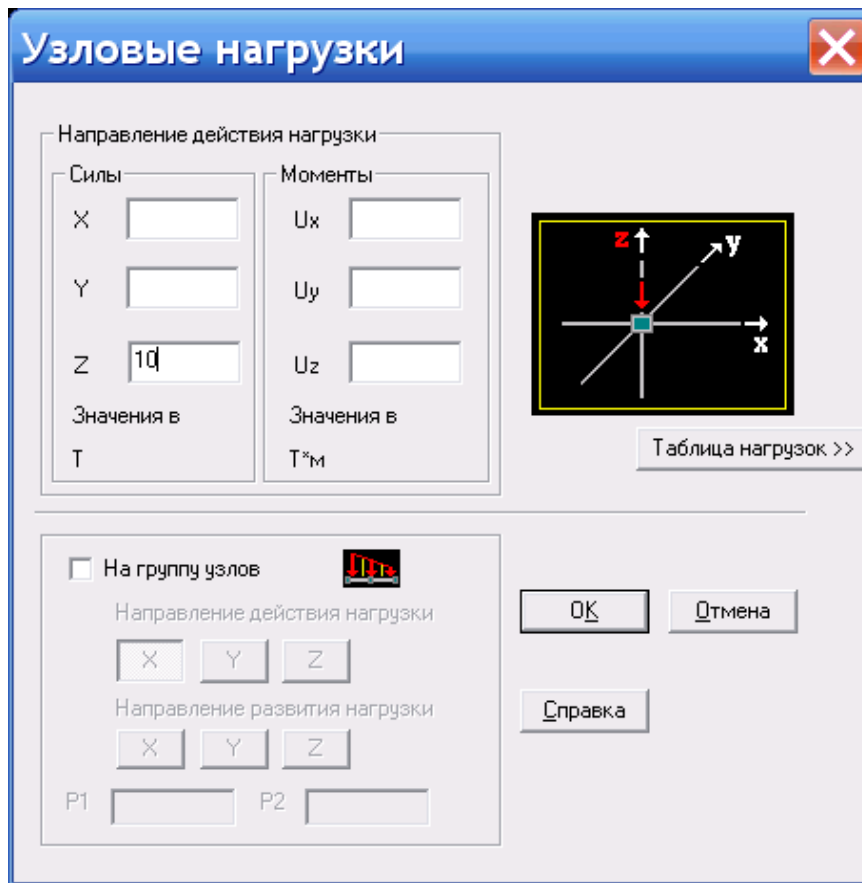


Рис. 4.11. Диалоговое окно **Узлові навантаження**.

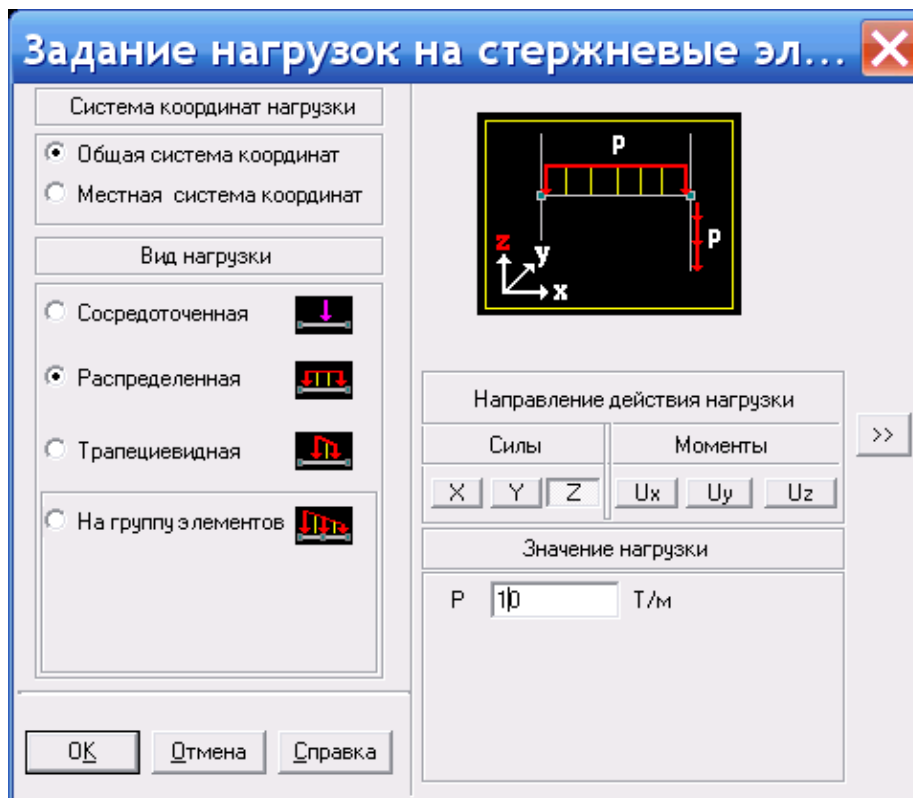


Рис. 4.12. Диалоговое окно **Формування навантажень на стрижневі елементи**.

4.4. Формування жорсткісних характеристик

Призначення жорсткісних характеристик виконується залежно від виду елемента. Програмою передбачені спеціальні функції для введення параметрів і призначення жорсткостей для стрижневих, пластинчастих, об'ємних та інших типів скінченних елементів.

Реалізовані у комплексі функції формування фізико-механічних характеристик стрижневих елементів дозволяють описати їх чисельно, через геометричні характеристики параметричних (типових) перерізів, призначити з вибраного сортаменту металопрокату, виконати чисельно-параметричне призначення жорсткості, а також призначити жорсткісні характеристики, використовуючи результати роботи програм **Конструктор перерізів**, **Консул** або **Тонус**. Дані вводяться за допомогою багатосторінкового діалогового вікна **Жорсткості стрижневих елементів** (рис. 4.13).

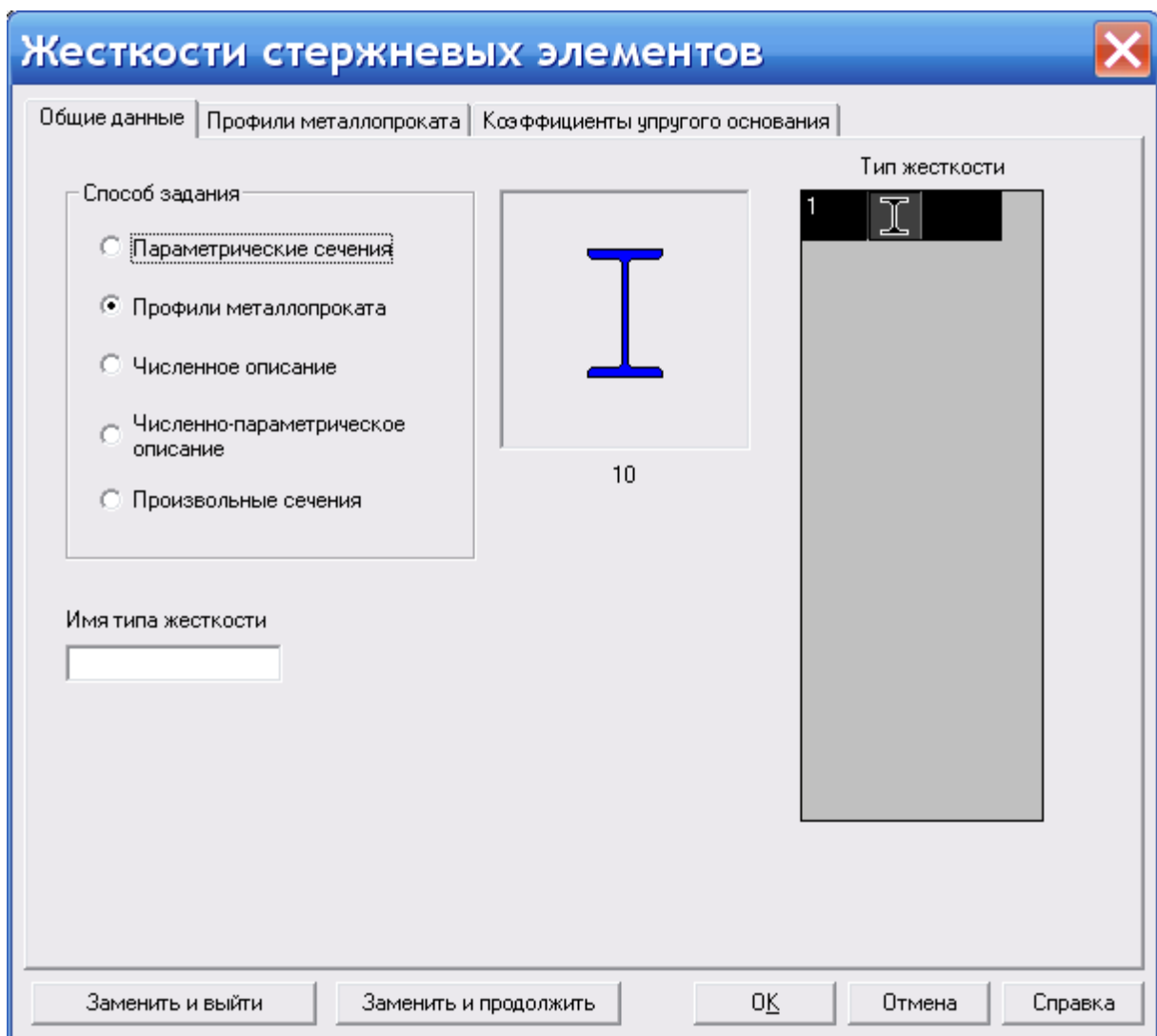


Рис. 4.13. Діалогове вікно **Жорсткості стрижневих елементів**.











Для призначення жорсткості стрижнів та закріплення вузлів необхідно скористатися вкладкою **Призначення**. Після її вибору вона сформує свій набір піктограм (рис. 4.14).



Рис. 4.14. Піктограми вкладки **Призначення**.

На рис. 4.14 зображена група команд вкладки **Призначення**, які допомагають виконувати такі операції:

- призначення жорсткості стрижням;
- призначення жорсткості пластинам;
- призначення жорсткості осесиметричним скінченним елементам;
- призначення жорсткості багатошаровим елементам;
- призначення жорсткості об'ємним елементам;
- встановлення зв'язків у вузлах;
- призначення типів скінченних елементів;
- встановлення / видалення жорстких вставок;
- встановлення шарнірів;
- видалення шарнірів;
- формування орієнтації місцевих осей координат елементів;
- призначення проміжних перерізів для розрахунку зусиль;
- визначення об'єднання переміщень у вузлах;

-  - перевернути місцеву вісь X_1 стрижня;
-  - зміна напрямку місцевої осі Z пластинчастих елементів;
-  - перехід до напружень уздовж заданого напрямку для пластин;
-  - перехід до напружень уздовж заданого напрямку для об'ємних елементів;
-  - вибір елементів, у вузлах яких потрібно визначити реакції;
-  - видалення дублюючих типів жорсткостей;
-  - призначення елементів для врахування фізичної нелінійності;
-  - визначення коефіцієнтів пружної основи;
-  - підтвердження;
-  - відмова.

Виберемо піктограму **Призначення жорсткості стрижнів**, яка відкриє діалогове вікно **Жорсткості стрижневих елементів** (рис. 4.15).

Виберемо в полі **Спосіб задання Профілі металопрокату**. При цьому біля вкладки **Загальні дані** сформується нова вкладка **Профілі металопрокату**. Активуємо її мишкою. У полі **Матеріал** виберемо **Сталь звичайна** (див. рис. 4.15). **Повний каталог профілів ГОСТ ...** (Зверніть увагу! Сортамент є індійський, японський, британський, американський тощо). З каталогу вибираємо необхідний номер швелера. Можна вибрати найменший у сортаменті. Програма перевірить прийнятий переріз і, якщо необхідно, сама підбере новий.

Для завершення вибору необхідно вибрати кнопку **ОК**. Ми повернемося до вікна графічного редактора, де курсором мишки потрібно вибрати стрижень на розрахунковій схемі, якому необхідно присвоїти дану жорсткість. Для завершення вибору належить активувати піктограму **ОК** (Підтвердження) на панелі піктограм вкладки **Призначення**.

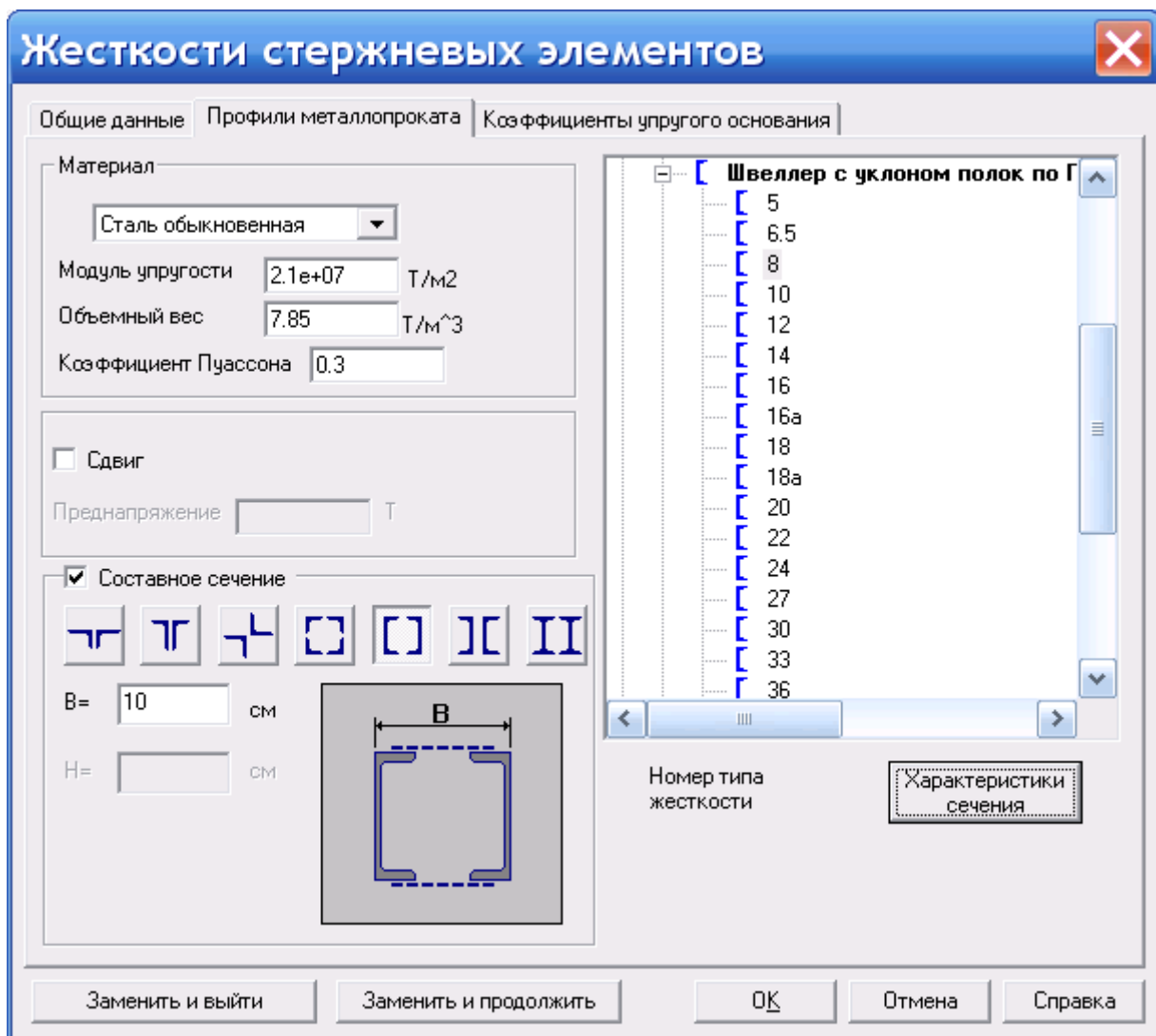


Рис. 4.15. Діалогове вікно **Жорсткості стрижневих елементів**.

Якщо активувати кнопку **Характеристики перерізу**, відкриється діалогове вікно **Інерційні та геометричні характеристики перерізу** (рис. 4.16). Це досить цікаве інформаційне вікно для інженера-будівельника. Його можна використовувати як потужний довідник, навіть без формування розрахункових схем!

Реалізовані у комплексі функції формування фізико-механічних характеристик стрижневих елементів дозволяють їх описати чисельно, через геометричні характеристики параметричних (типових) перерізів, призначити із вибраного сортаменту металлопрокату, виконати чисельно-параметричне призначення жорсткості. Під час роботи з жорсткостями необхідно пам'ятати, що існує режим введення нової вхідної інформації та режим її редагування.

Інерційні та геометричні характеристики сечення ✕

Імя бази профілей	Полный каталог профілей ГОСТ..
Імя профіля	Швеллер с уклоном полков по ГОСТ 8240-89 8
Модуль упругости E	21000000.0 Т/м ²
Объёмный вес	7.85 Т/м ³
Коефіцієнт Пуассона	0.3
EF	37716.0 Т
Ely	37.55 Т*м ²
Elz	56.73 Т*м ²
Gікр	0.12 Т*м ²
GFy	9563.08 Т
GFz	11630.77 Т
Y1	39.82 см
Y2	39.82 см
Z1	0.15 см
Z2	0.15 см
b	4.0 см
h	8.0 см
s	0.45 см
t	0.74 см
R	0.65 см
r	0.25 см
Площадь сечения	17.96 см ²
Iy	178.8 см ⁴
Iz	54.11 см ⁴
Iкр	0 см ⁴

OK Отмена Справка

Рис. 4.16. Інформаційне вікно **Інерційні та геометричні характеристики перерізу**.

4.5. Формування зв'язків у вузлах

Активуємо піктограму **Встановити зв'язки у вузлах** для закріплення вузлів нашої розрахункової схеми. Відкриється вікно **Зв'язки** (рис. 4.17).

Вибираємо необхідні закріплення, активуємо кнопку **ОК**. Вікно закриється. Курсором мишки потрібно вибрати вузол, якому необхідно надати дані властивості. Для завершення вибору належить активувати піктограму **ОК** (Підтвердження) на панелі піктограм вкладки **Призначення**. Для кожного закріпленого вузла ці дії потрібно повторити.

На цьому етапі наша розрахункова схема повинна бути створена. Про її відображення у вікні графічного редактора ми поговоримо пізніше.

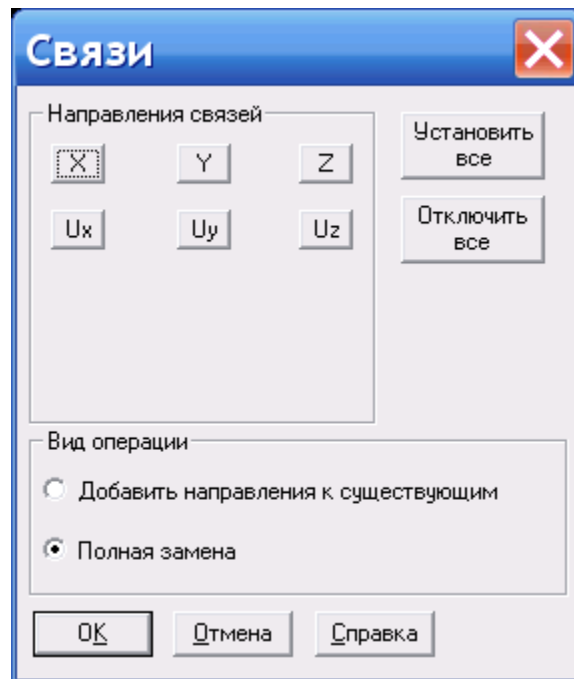


Рис. 4.17. Вікно встановлення заборони переміщень та поворотів у вузлах розрахункової схеми: **X, Y, Z** – переміщення вздовж осей; **Ux, Uy, Uz** – поворот відносно осей.

У більшості випадків у балкових елементах розрізняють три основні типи опор (рис. 4.18):

- шарнірно-рухома опора (рис. 4.18, а), в якій виникає тільки одна складова реакції R_A , яка напрямлена вздовж опорного стрижня;

- шарнірно-нерухома опора (рис. 4.18, б), в якій можуть виникати дві складові реакції – вертикальна R_A та горизонтальна H_A ;

- защемлення (рис. 4.18, в) (жорстке защемлення або зароблення), де можуть бути три складові: вертикальна R_A і горизонтальна H_A реакції та опорний момент M_A .

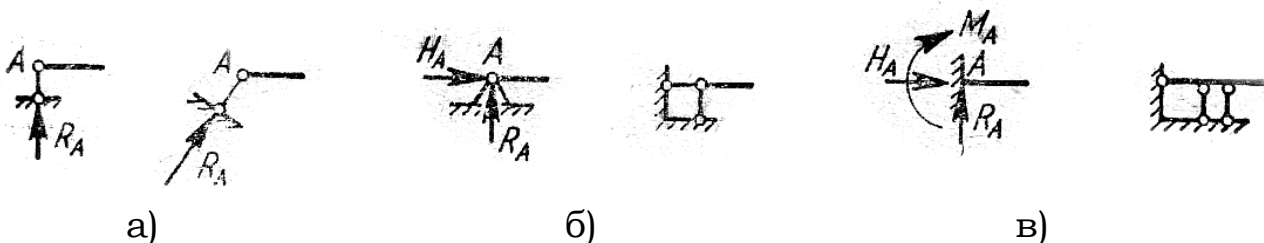


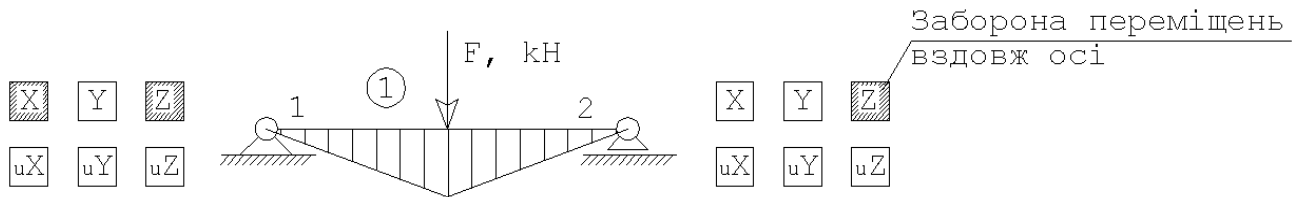
Рис. 4.18. Типи опор:

а) шарнірно-рухома; б) шарнірно-нерухома; в) защемлення.

Для відображення зв'язків на розрахунковій схемі необхідно скористатися командою **Зв'язки** на панелі **Фільтри відображення**.

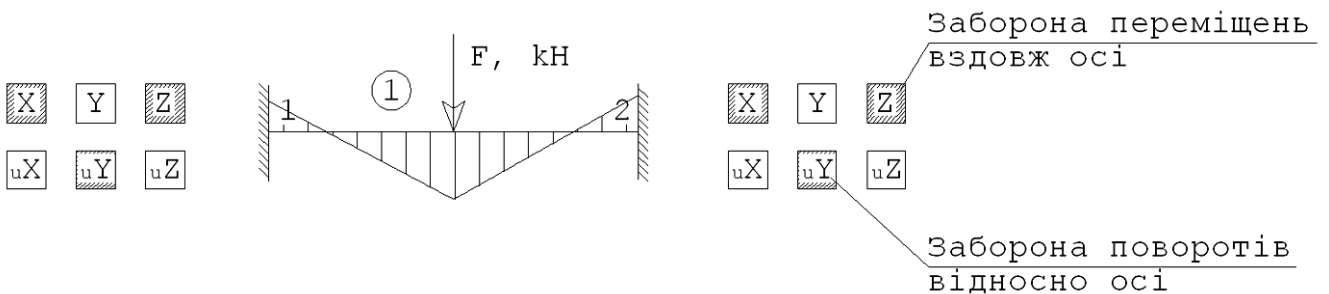
4.5.1. Варіанти закріплення вузлів у балках та рамах

Схема 1



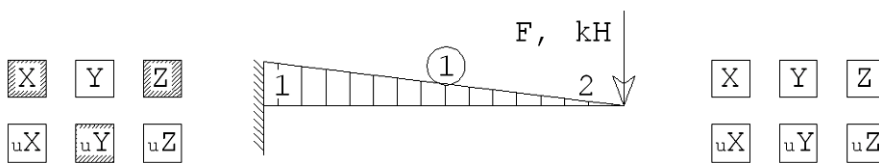
вузол 1 – шарнірно-нерухомий (встановлена заборона переміщень уздовж осей X та Z); вузол 2 – шарнірно-рухомий (встановлена заборона переміщень вздовж осі Z)

Схема 2



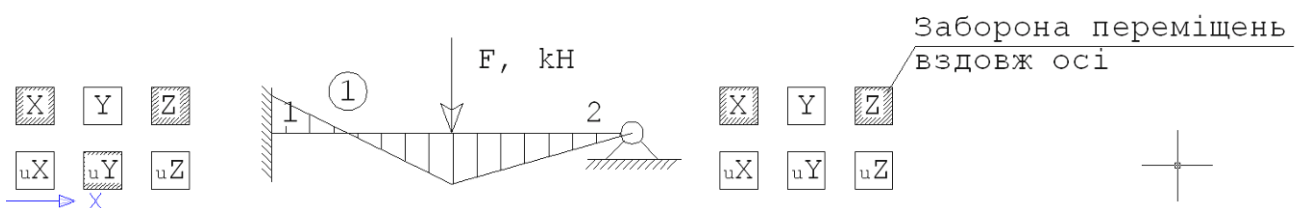
вузли 1 та 2 – зацмлені (встановлена заборона переміщень уздовж осей X , Z та поворотів відносно осі Y)

Схема 3



вузол 1 – зацмлений (встановлена заборона переміщень уздовж осей X , Z та поворотів відносно осі Y); вузол 2 – вільний (немає жодних заборон)

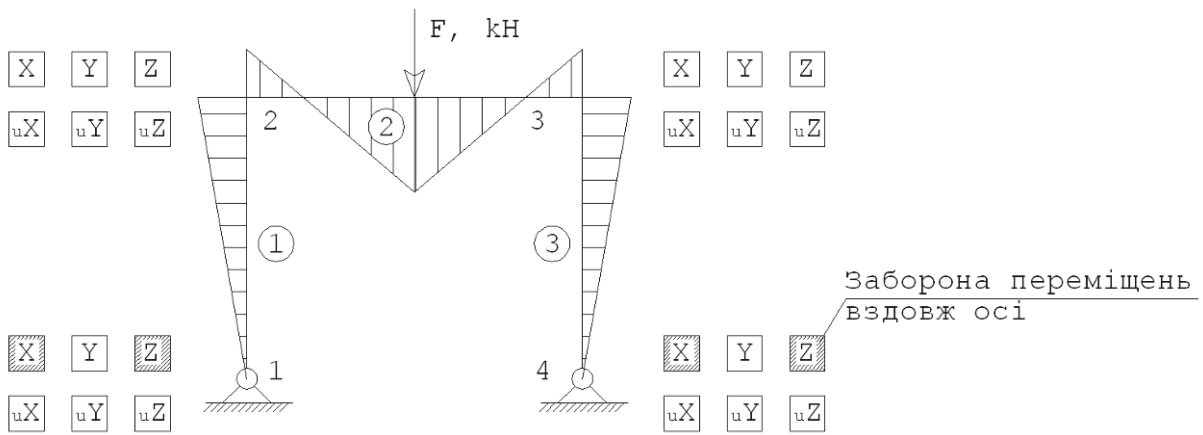
Схема 4



вузол 1 – зацмлений (встановлена заборона переміщень уздовж осей X , Z та поворотів відносно осі Y); вузол 2 – шарнірно-нерухомий (встановлена заборона переміщень уздовж осей X та Z)

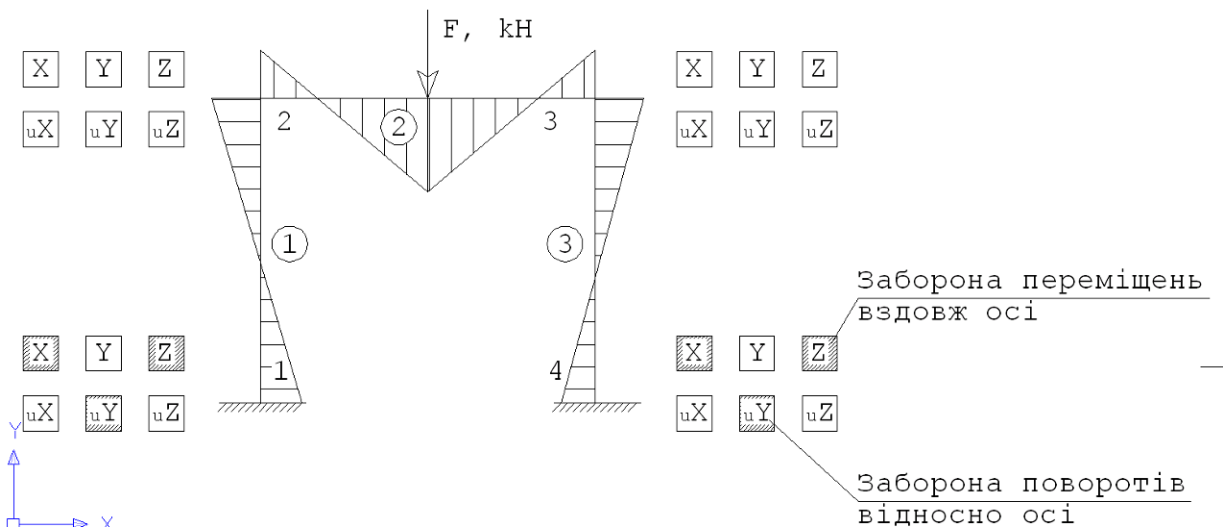
Рис. 4.19, а. Деякі варіанти закріплення вузлів у балках.

Схема 5



вузли 1 та 4 – шарнірно-нерухомі (встановлена заборона переміщень уздовж осей X та Z); вузли 2 та 3 – вільні (немає жодних заборон)

Схема 6



вузли 1 та 4 – зацмлені (встановлена заборона переміщень уздовж осей X , Z та поворотів відносно осі Y); вузли 2 та 3 – вільні (немає жодних заборон)

Рис. 4.19, б. Варіанти закріплення вузлів у рамах.

4.6. Статичний розрахунок розрахункової схеми

Для розрахунку створеної розрахункової схеми нам потрібно повернутися до дерева проекту. Це можна зробити через вкладку **Керування**, яка відкриє свій набір піктограм. Вибираємо піктограму **Вийти до екрану керування проектом**. Програма видасть вікно (рис. 4.20).

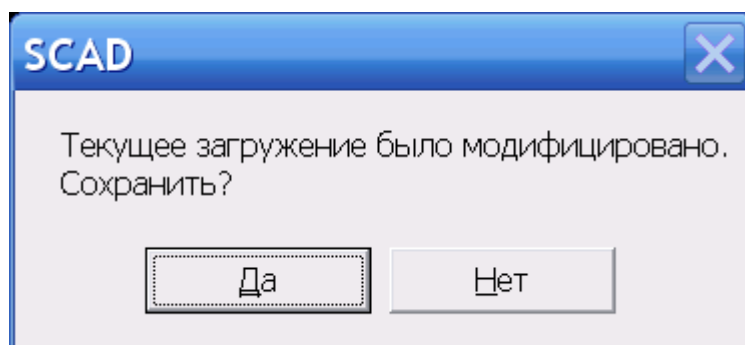


Рис. 4.20. Вікно зберігання поточного завантаження.

Виберемо **Так**, після чого програма видасть нове вікно (рис. 4.21), де запитає ім'я навантаження. Введемо число **1** і виберемо кнопку **ОК**.

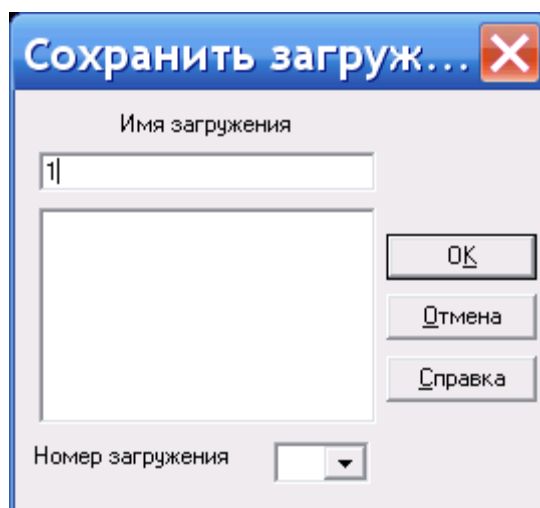


Рис. 4.21. Вікно збереження навантажень на розрахункову схему.

Програма повідомить вікном (рис. 4.22), що навантаження збережено під номером 1.

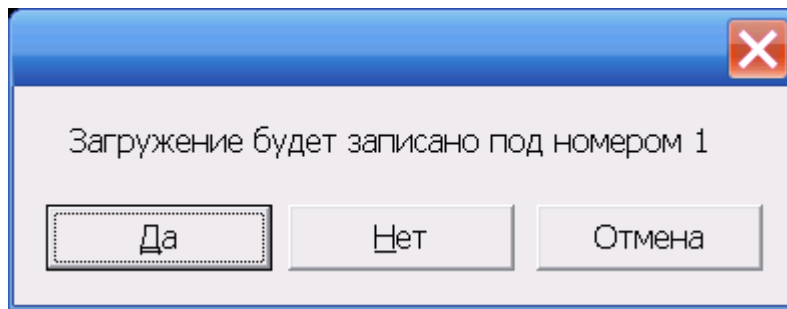


Рис. 4.22. Вікно збереження завантаження.

Виберемо **Так**. Програма видасть нове вікно (рис. 4.23), де запропонує перейти до формування наступного зовнішнього завантаження.

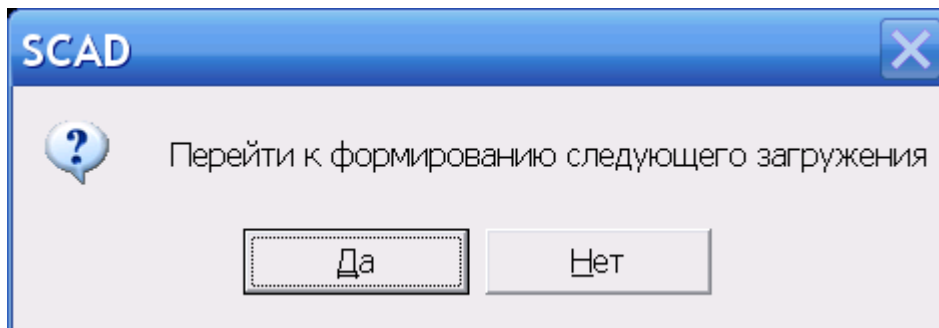


Рис. 4.23. Вікно переходу до формування наступного завантаження.

Виберемо **Ні**.

Програма відкриє вікно з деревом проекту (рис. 4.24). Зверніть увагу, що у каталозі **Розрахунок** поле **Лінійний** вже буде доступне для виконання. Вибираємо це поле мишкою.

Серед методів розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь використовують як прямі методи, так і ітераційні.

Прямі методи є потужним засобом розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь з розрідженими матрицями, якщо вдається знайти ефективний спосіб упорядкування, що суттєво зменшує заповнення під час факторизації матриці. Найширше розповсюдження з прямих методів у методі скінченних елементів отримали профільний метод, заснований на Гауссовому виключенні, та фронтальний метод.

Ітераційні методи розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь широко використовуються під час дослідження складних задач механіки деформівного твердого тіла.

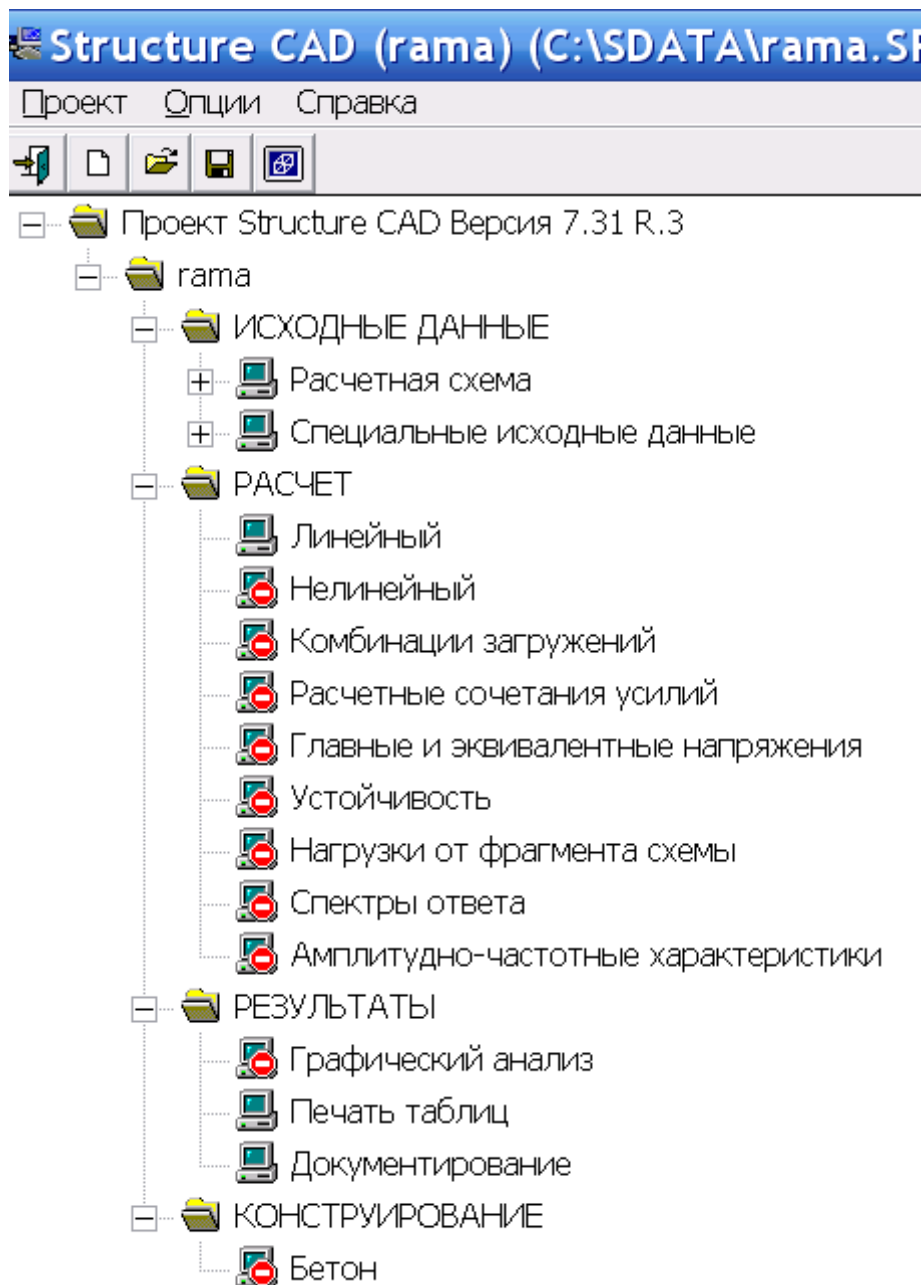


Рис. 4.24. Вікно дерева проекту з відкритим доступом до команди **Лінійний** у каталозі **Розрахунок**.

Програма відкриє діалогове вікно **Параметри розрахунку** (рис. 4.25). На перших порах тут нічого не змінюємо, вибираємо кнопку **ОК**.

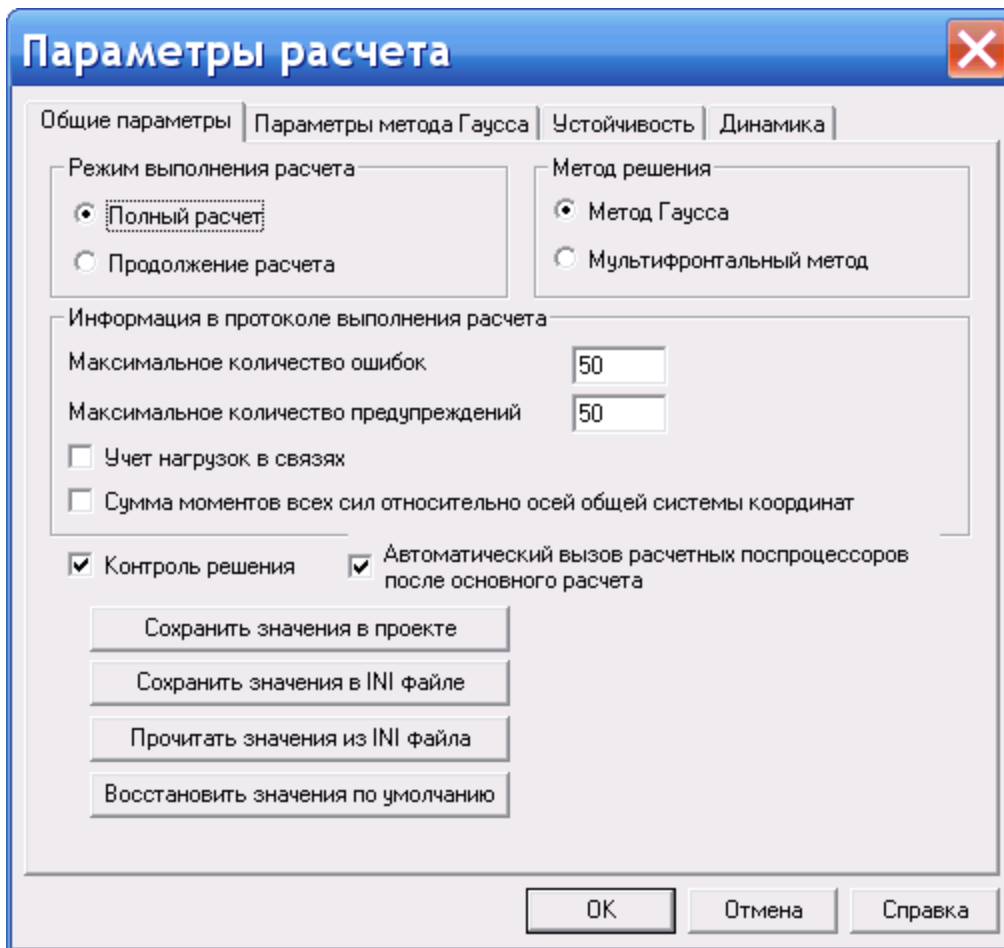


Рис. 4.25. Вікно **Параметри розрахунку**.

Програма відкриє наступне інформаційне вікно (рис. 4.26), в якому запропонує зберегти останні зміни.

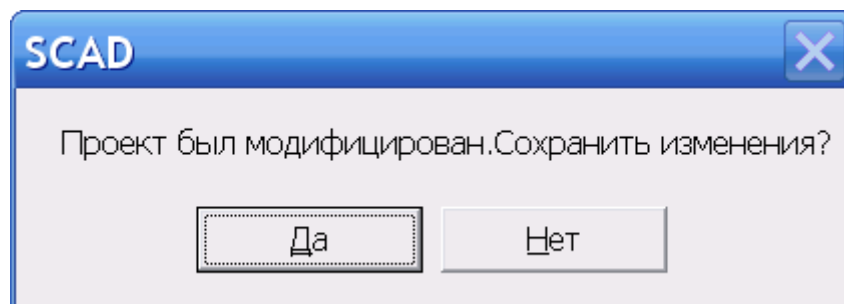


Рис. 4.26. Вікно збереження змін.

Вибираємо кнопку **Так**.

Програма виведе одночасно три вікна (рис. 4.27): **Розрахункова схема**, **Матриця**, **Протокол виконання розрахунку**.

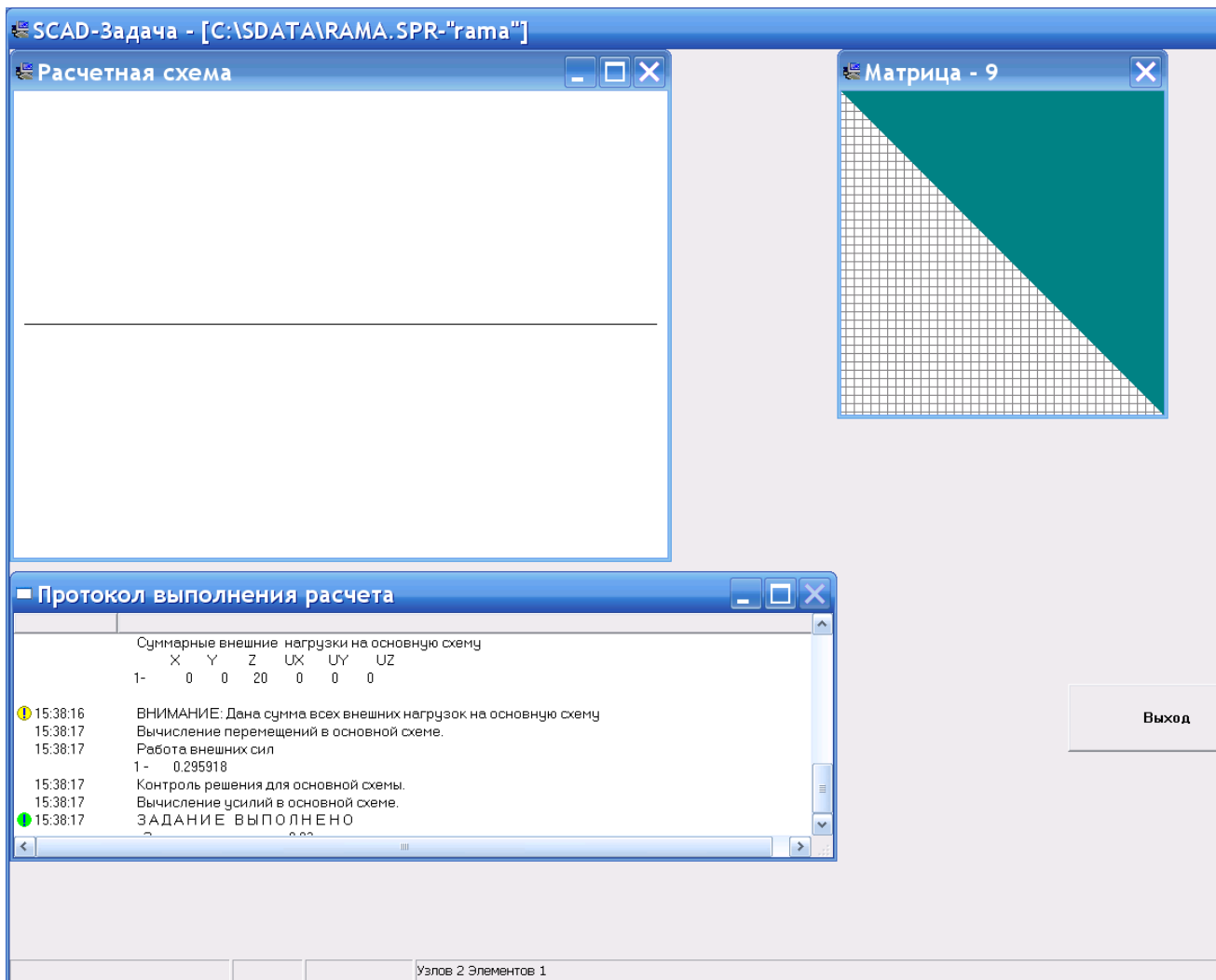


Рис. 4.27. Вікна **Розрахункова схема**, **Матриця**, **Протокол виконання розрахунку**.

У вікні **Розрахункова схема** схематично відображається побудована користувачем розрахункова схема.

У вікні **Матриця** відображається розташування нульових та ненульових елементів під час розкладання матриці. Створена користувачем розрахункова схема у вигляді скінченноелементної структури формується як задача про визначення переміщень вузлів та зводиться до розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь типу

$$\mathbf{K} \mathbf{x} \mathbf{Z} = \mathbf{F}, \quad (4.1)$$

де \mathbf{K} – симетрична матриця розміром $\mathbf{N} \times \mathbf{N}$. Матриця \mathbf{K} , як правило, містить значне число нульових коефіцієнтів і додатно визначена;

\mathbf{F} – матриця правих частин (навантажень) розміром $\mathbf{N} \times \mathbf{k}$ (\mathbf{k} – кількість навантажень);

\mathbf{Z} – шукана матриця переміщень розміром $\mathbf{k} \times \mathbf{N}$.

У вікні **Протокол виконання розрахунку** (рис. 4.28) буде змінюватися (бігти рядками) інформація. Останній рядок цієї інформації повинен містити напис **Завдання виконано**.

Якщо є якісь недоліки у закріпленні вузлів, пропущено формування якоїсь вхідної інформації, це все буде повідомлено у цьому інформаційному вікні.

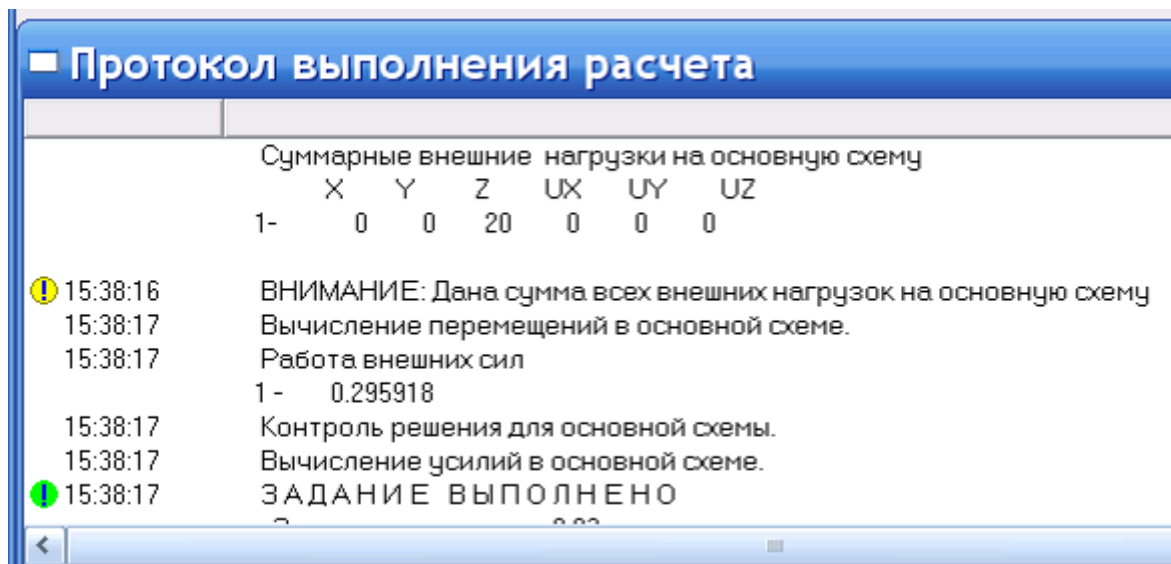


Рис. 4.28. Вікно **Протокол виконання розрахунку**.

Якщо розрахунок завершено і є напис **Завдання виконано**, вибираємо кнопку **Вихід**. Ми повернемося до вікна дерева проекту (рис. 4.29).

Зверніть увагу, що в каталозі **Результати** поле **Графічний аналіз** вже буде доступне для виконання. Вибираємо це поле мишкою.

4.7. Аналіз результатів статичного розрахунку розрахункової схеми

У каталозі **Результати** вибираємо **Графічний аналіз**.

Після вибору **Графічного аналізу** відкриється вікно графічного редактора з новими вкладками (рис. 4.30): **Керування**, **Деформації**, **Епюри зусиль**, **Поля напружень**, **Постпроцесор**, **Групи**.

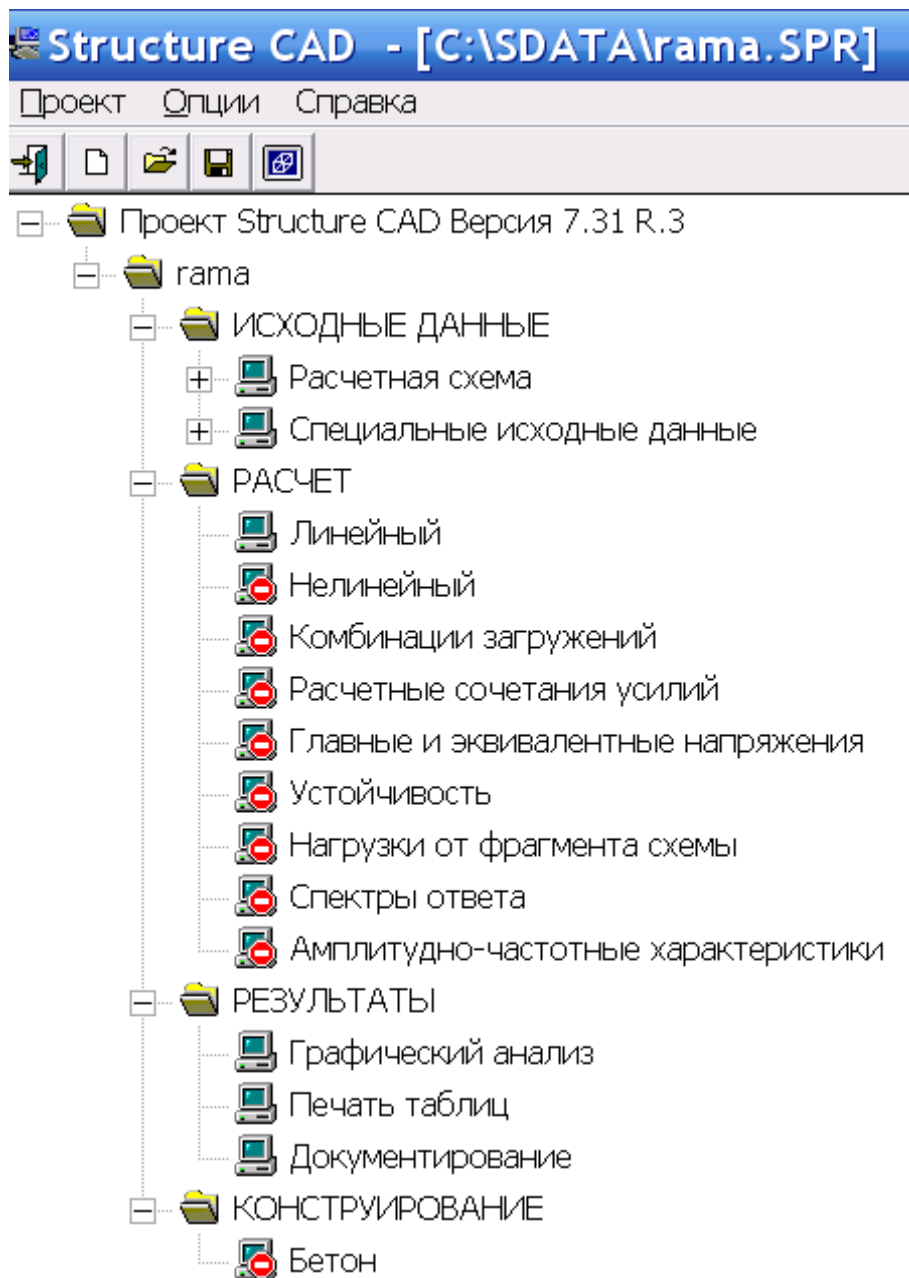


Рис. 4.29. Вікно дерева проекту з відкритим доступом до команди **Графічний аналіз** у каталозі **Результати**.

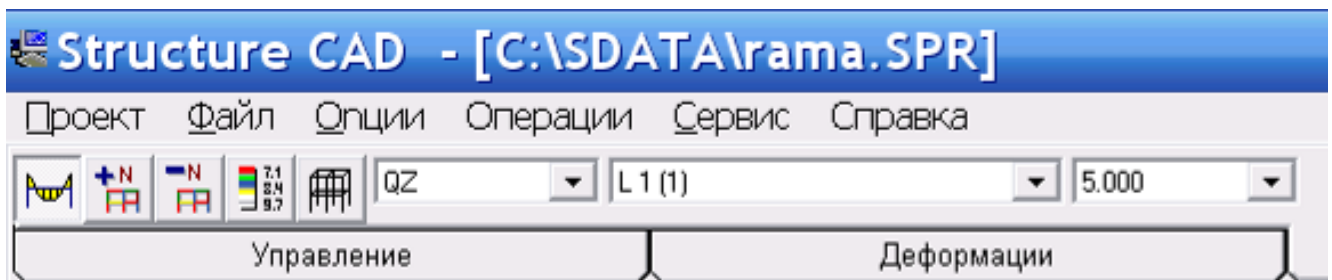


Рис. 4.30. Вікно **Графічного аналізу**.

Для аналізу деформованого стану слід скористатися вкладкою **Деформація**, яка відкриє свій набір піктограм (рис. 4.31).

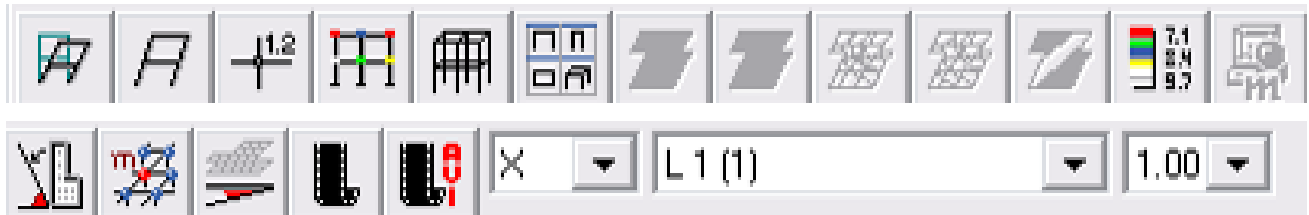
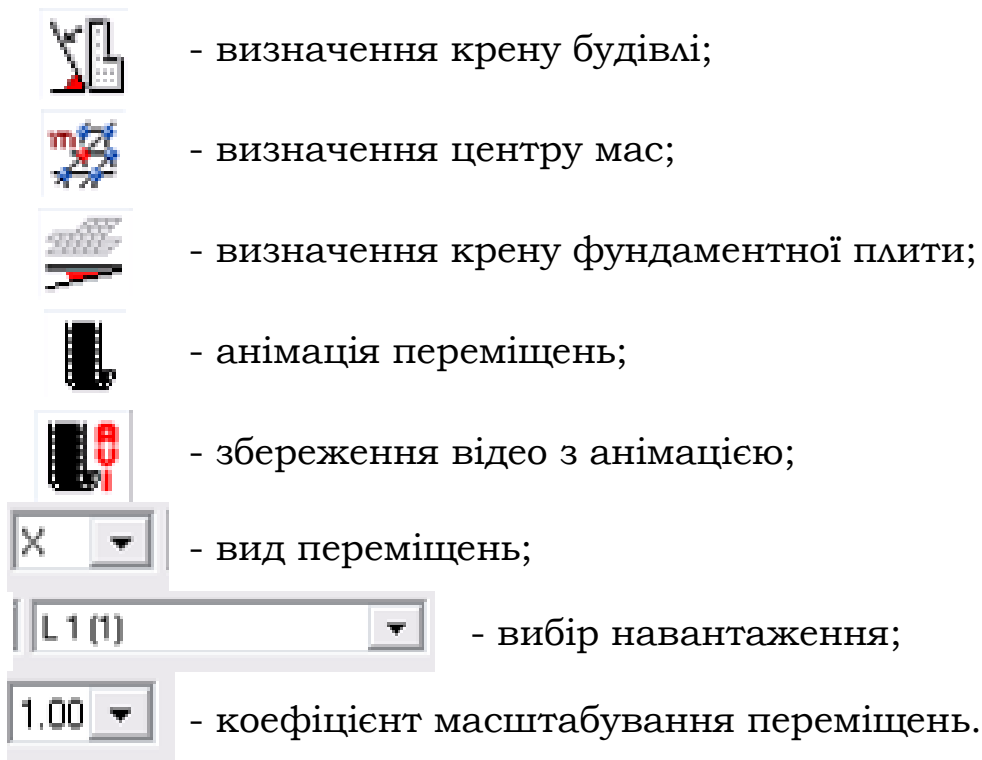


Рис. 4.31. Піктограми вкладки **Деформація**.

На рис. 4.31 зображена група команд вкладки **Деформація**, які допомагають виконувати такі операції:

-  - одночасне відображення початкової та zdeформованої схеми;
-  - відображення zdeформованої схеми;
-  - виведення значень переміщень у вузлах;
-  - колірна індикація переміщень у вузлах;
-  - відображення розрахункової схеми;
-  - відображення деформацій на проекціях;
-  - відображення ізополів переміщень;
-  - відображення ізополів та ізоліній переміщень;
-  - відображення ізоліній переміщень;
-  - відображення ізоліній переміщень з постійним кроком;
-  - відображення ізополів переміщень з постійним кроком;
-  - встановлення параметрів колірної шкали;
-  - відображення приведених вузлових мас;



За допомогою піктограми **Анімація переміщень** можна спостерігати, як буде поводити себе дана конструкція під дією зовнішнього навантаження (згинатися, стискатися, розтягуватися тощо).

Для перегляду епюр згинальних моментів, перерізуючих та нормальних сил, які виникають по довжині стрижнів у розрахунковій схемі, необхідно скористатися вкладкою **Епюри зусиль**, яка відкриє свій набір піктограм (рис. 4.32).

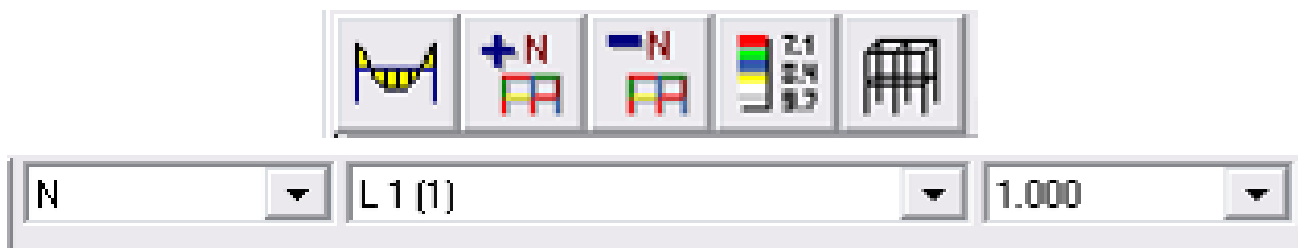
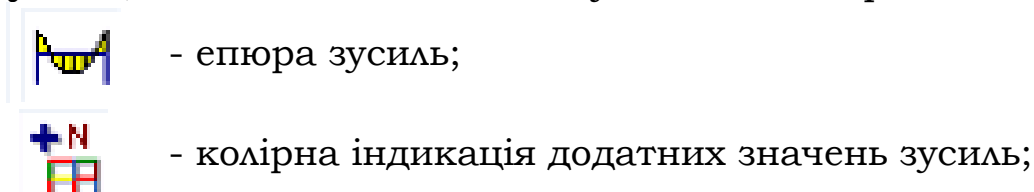
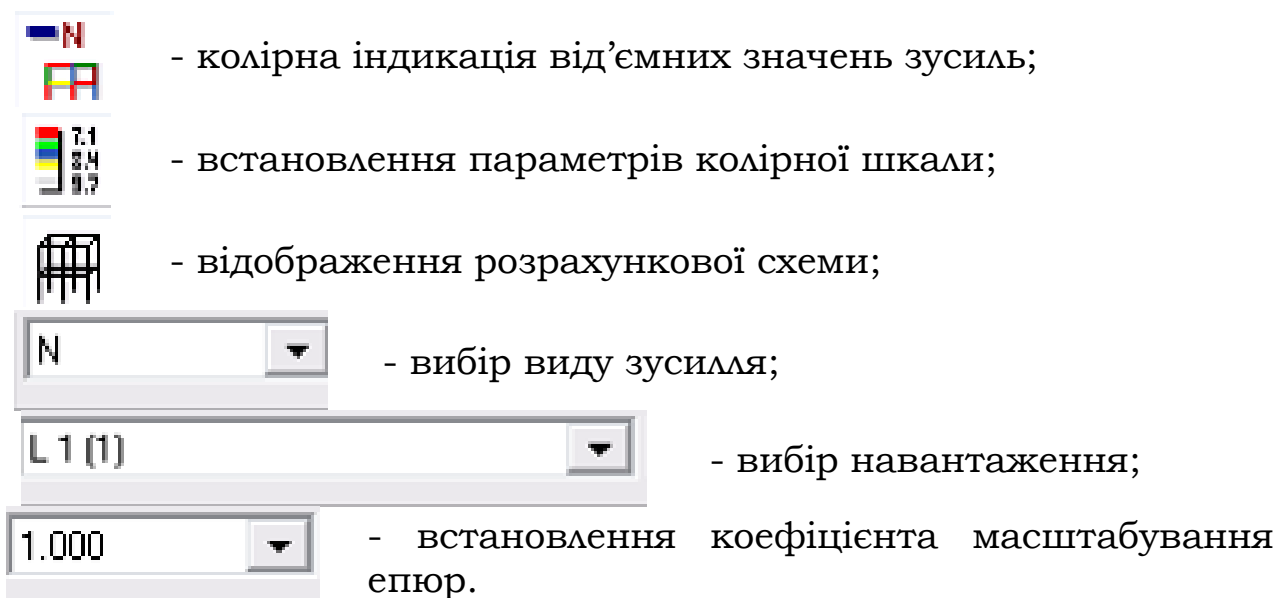


Рис. 4.32. Піктограми вкладки **Епюри зусиль**.

На рис. 4.32 зображена група команд вкладки **Епюри зусиль**, які допомагають виконувати такі операції:





Виберемо піктограму **Епюри зусиль**, налаштуємо вид зусилля (**N** – нормальна сила, **My** – згинальний момент, **Qz** – перерізуюча сила), номер завантаження (у нашому випадку **1**), виберемо коефіцієнт масштабування епюр (для зручного перегляду).

SCAD дає змогу розрахувати практично будь-яку схему кроквяної ферми (металевої, дерев'яної чи залізобетонної). При заданому навантаженні легко визначає розрахункові зусилля в стрижнях з урахуванням поєднання навантаження, а також підбирає необхідні перерізи стрижнів (рис. 4.33).

Ферма 1

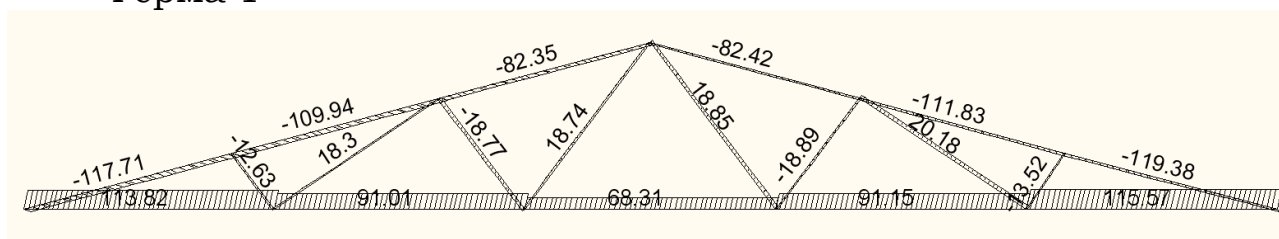


Рис. 4.33. Побудована епюра **N** у стрижнях металевої ферми.

4.8. Перевірка несучої здатності металевих перерізів

Вкладка **Постпроцесори** призначена для перевірки несучої здатності стрижневих елементів металевих конструкцій відповідно до вимог ДБН В.2.6-198: 2006 «Сталеві конструкції. Норми проектування».

Поперечні перерізи стрижнів можуть бути з поодиноких прокатних профілів, із зварних двотаврових і коробчастих

перерізів, заданих як параметричні перерізи, а також із зварних перерізів довільної конфігурації, сформованих за допомогою **Конструктора перерізів**.

Перевірку несучої здатності металевих перерізів виконують для **конструктивних елементів**. Такий елемент моделює фізично однорідний елемент будівельної конструкції – стійку рами, підкранову чи надкранову частину колони, суцільний ригель, пояс ферми тощо.

Вкладка **Постпроцесори** відкриє свій набір піктограм (рис. 4.34).



Рис. 4.34. Піктограми вкладки **Постпроцесори**.

На рис. 4.34 зображена група команд вкладки **Постпроцесори**, які допомагають виконувати такі операції:



- аналіз результатів армування;



- аналіз навантажень від фрагмента схеми;



- аналіз головних і еквівалентних напружень;



- перевірка перерізів із металопрокату;



- енергетичний постпроцесор;



- експорт даних у FOK.

Вибираємо команду **Перевірка перерізів із металопрокату**. Вона відкриє свій набір піктограм.

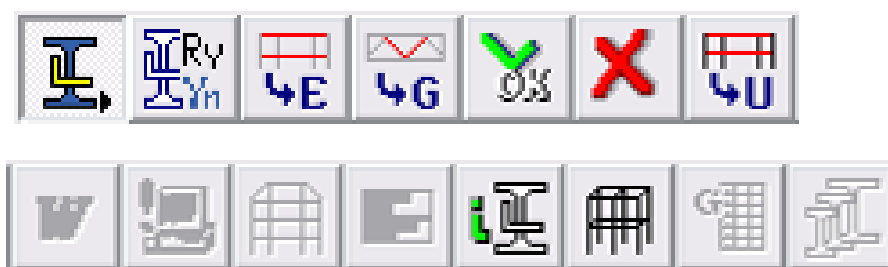


Рис. 4.35. Піктограми **Перевірки перерізів із металопрокату**.

На рис. 4.35 зображена група команд, які допомагають виконувати такі операції:



- перевірка перерізів із металопродукату;



- встановлення параметрів;



- призначення конструктивних елементів;



- призначення груп конструктивних елементів;



- підтвердження;



- відмова;



- призначення груп уніфікації;



- формування звіту;



- розрахунок;



- візуалізація результатів на схемі;



- вибіркова візуалізація результатів;



- відображення інформації про перерізи;



- відображення розрахункової схеми;



- склад групи конструктивних елементів;



- підбір перерізів.

4.8.1. Встановлення параметрів

Активуємо команду **Встановлення параметрів**, яка у свою чергу відкриє діалогове вікно **Параметри налаштування** (рис.

4.36). Введені у вікні дані автоматично присвоюються всім конструктивним елементам і групам конструктивних елементів. Якщо конструктивний елемент або група мають інші значення параметрів налаштування, тоді ці параметри призначаються у діалогових вікнах **Конструктивний елемент** або **Група конструктивних елементів**.

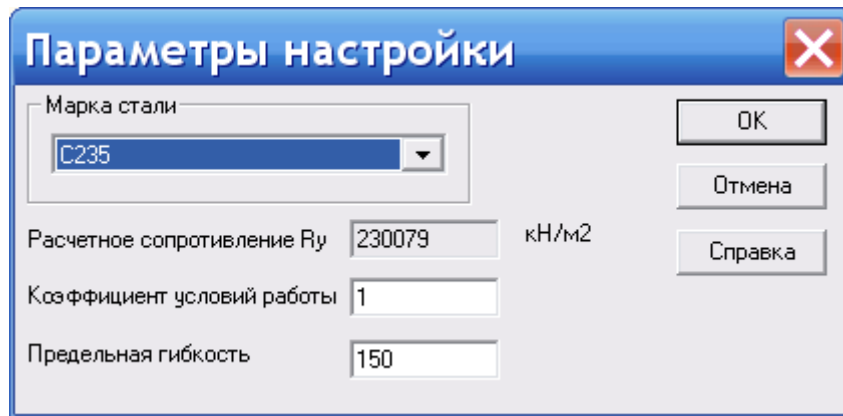


Рис. 4.36. Діалогове вікно **Параметри налаштування**.

У полі **Марка сталі** вибираємо необхідне значення (наприклад, С235), інші величини вікна поки що не змінюємо, вибираємо кнопку **ОК**. За замовчуванням приймається: коефіцієнт умов роботи – 1, гранична гнучкість – 150. Розрахунковий опір сталі за умовною границею текучості на розтяг, стиск або згин прийнято незалежним від виду прокату.

4.8.2. Призначення конструктивних елементів

Для формування конструктивних елементів необхідно активувати піктограму **Призначення конструктивних елементів**. Потім вибрати за допомогою мишки на схемі стрижні, які входять до конструктивного елемента. Для завершення вибору необхідно активізувати кнопку **ОК** на інструментальній панелі, яка призведе до відкриття діалогового вікна **Конструктивний елемент** (рис. 4.37).

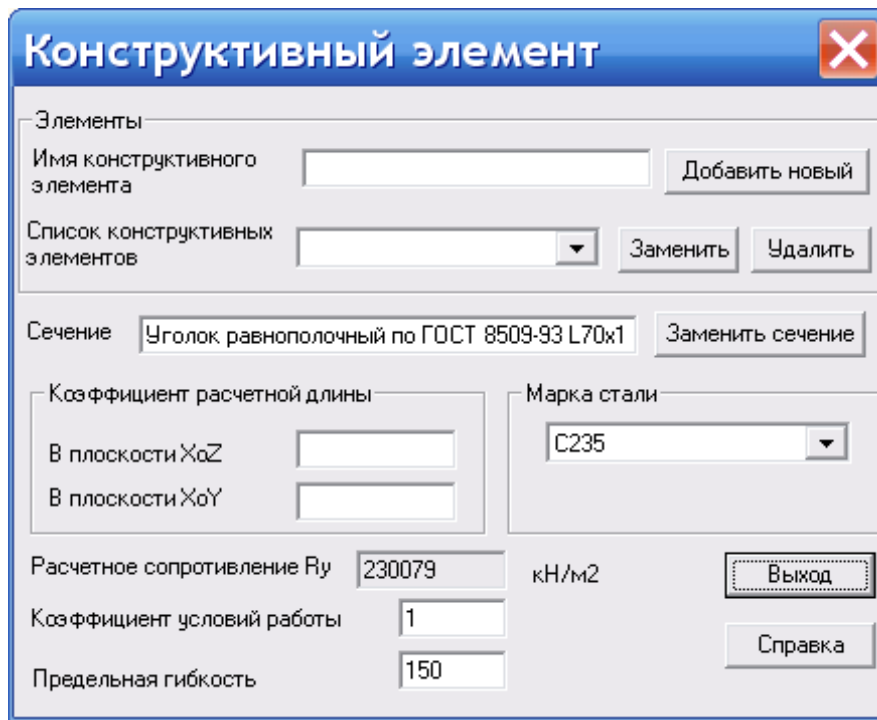


Рис. 4.37. Диалогове вікно **Конструктивный элемент**.

У цьому вікні (див. рис. 4.37) задаються характеристики елемента: ім'я, коефіцієнти розрахункових довжин у площинах **XαZ** та **XαY**, марка сталі, розрахунковий опір сталі, коефіцієнт умов роботи, гранична гнучкість.

Після введення всіх необхідних даних про конструктивний елемент необхідно активувати кнопку **Додати новий**. Для завершення роботи з вікном – активувати кнопку **Вихід**.

Перед включенням нового конструктивного елемента до списку конструктивних елементів, які потребують перевірки, виконується контроль коректності призначення. Якщо в результаті контролю виявлено, що вибрані елементи не відповідають вимогам до скінченних елементів, які складають конструктивний елемент, тоді відкриється діалогове вікно **Контроль конструктивного елемента** (рис. 4.38).

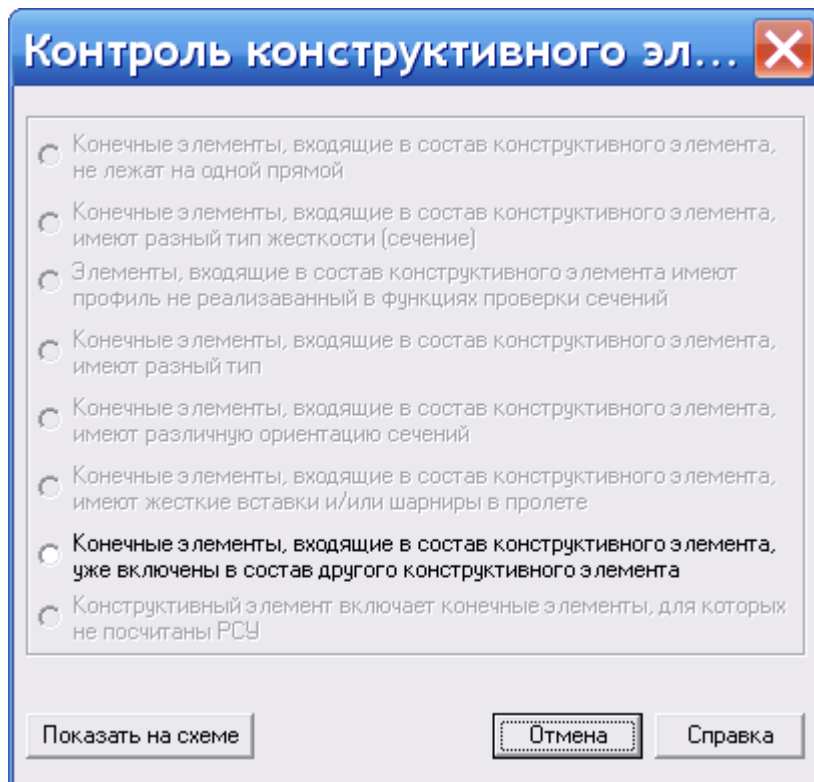


Рис. 4.38. Діалогове вікно **Контроль конструктивного елемента**.

4.8.3. Призначення груп конструктивних елементів

У деяких випадках конструктивний елемент може складатися тільки із одного стрижневого скінченного елемента. Коли такими властивостями володіє ряд окремих стрижневих елементів (наприклад, стійки або розкоси ферм), вони можуть бути об'єднані в групи і перевірка несучої здатності виконується для всієї групи конструктивних елементів.

Обов'язковими умовами для елементів, що входять до однієї групи, є: однаковий тип перерізу, однаковий тип скінченного елемента, однаковий коефіцієнт розрахункової довжини.

Порядок дій для призначення груп конструктивних елементів і формування їх характеристик аналогічний для конструктивних елементів.

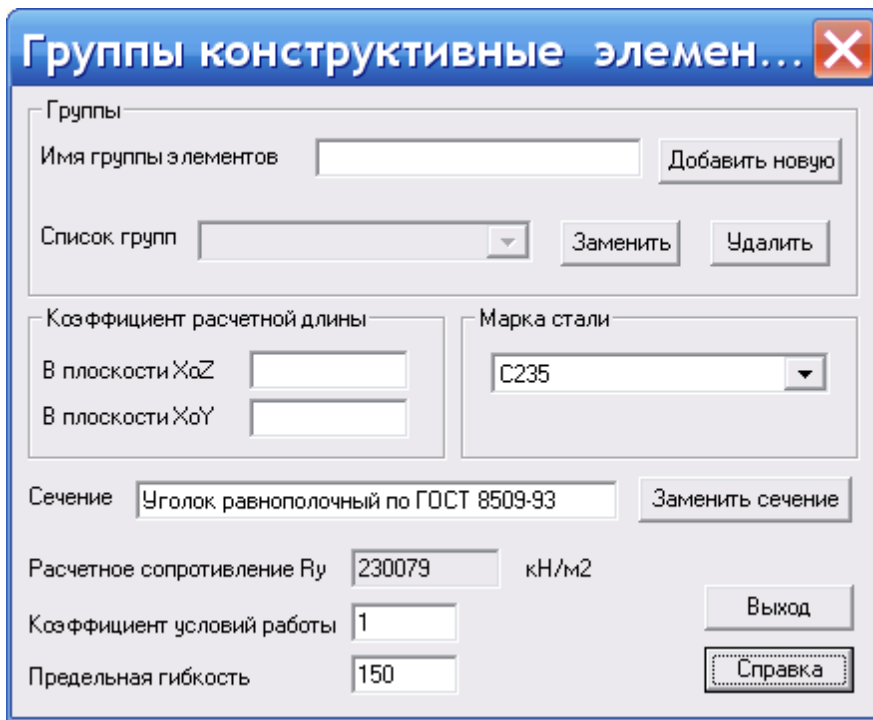


Рис. 4.39. Діалогове вікно **Групи конструктивних елементів**.

4.8.4. Розрахунок

Після вибору мишкою команди **Розрахунок** виконується перевірка несучої здатності конструктивних елементів або груп конструктивних елементів. Перевірка виконується для всіх перерізів елементів, які входять до конструктивного елемента або групи конструктивних елементів. Результатом розрахунку є найбільше значення кожного фактору, який визначає несучу здатність. Програма здійснює комплекс перевірок за методикою ДБН В.2.6-198: 2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».

4.8.5. Відображення результатів

Результати проведеної перевірки несучої здатності можуть відображатися безпосередньо на розрахунковій схемі (пиктограма **Візуалізація результатів на схемі**) або у вигляді текстового звіту у форматі **.rtf** (пиктограма **Формування звіту**) (рис. 4.40).

1_1.rtf - Microsoft Word

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Таблица Окно Справка OmniPage

Фирма : SCAD Soft
Украина, Киев, 03186 ГСП,
Чоколовский бульвар 13,
тел./факс +380 44 2438351

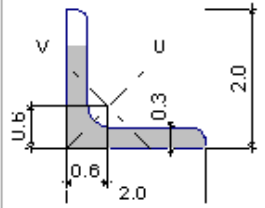
Windows
SCAD Structure®

Пользователь : Unknown
Дата : 04/03/2015

Проверка элементов стальных конструкций

Конструктивный элемент 1

Расчетное сопротивление стали $R_v = 230079.0$ кН/м²
 Коэффициент условий работы -- 1.0
 Предельная гибкость -- 150.0
 Коэффициент расчетной длины в плоскости X1,Y1 -- 1.0
 Коэффициент расчетной длины в плоскости X1,Z1 -- 1.0
 Длина элемента -- 0.55 м



Сечение
Уголок равнополочный
по ГОСТ 8509-93
L20x3

Коэффициенты использования :

устойчивость при сжатии уголка относительно главных осей	1.54
предельная гибкость в плоскости X1,O,Y1	0.95
предельная гибкость в плоскости X1,O,Z1	0.49

Коэффициент использования 1.54 - устойчивость при сжатии уголка относительно главных осей

Стр. 1 Разд 1 1/1 На 3.3см Ст 1 Кол 1 ЗАП ИСПР ВДЛ ЗАМ русский (Рос

Рис. 4.40. Результаты проведенної перевірки несучої здатності конструктивного елемента у вигляді текстового звіту.

4.8.6. Підбір перерізів

Підбір перерізів елементів виконується в тих випадках, коли їх поперечні перерізи задані з одиничних прокатних профілів. У підборі можуть брати участь конструктивні елементи, групи конструктивних елементів та уніфіковані групи. Підбір перерізів здійснюють за допомогою команди **Підбір перерізів**.

Результати підбору відображаються у таблиці діалогового вікна **Результати підбору перерізів** (рис. 4.41).

У першому стовпчику таблиці подається ім'я групи або конструктивного елемента, у другому – початковий переріз, у третьому – переріз, отриманий в результаті підбору. У наступних трьох стовпчиках наводиться інформація про зміну у відсотках основних жорсткісних характеристик (***EF***, ***EI_y***, ***EI_z***) після підбору. Якщо за результатами підбору сортамент виявився вичерпаним, а необхідна несуча здатність не досягнута, тоді ім'я об'єкта виводиться червоним кольором без жодної розрахункової інформації.

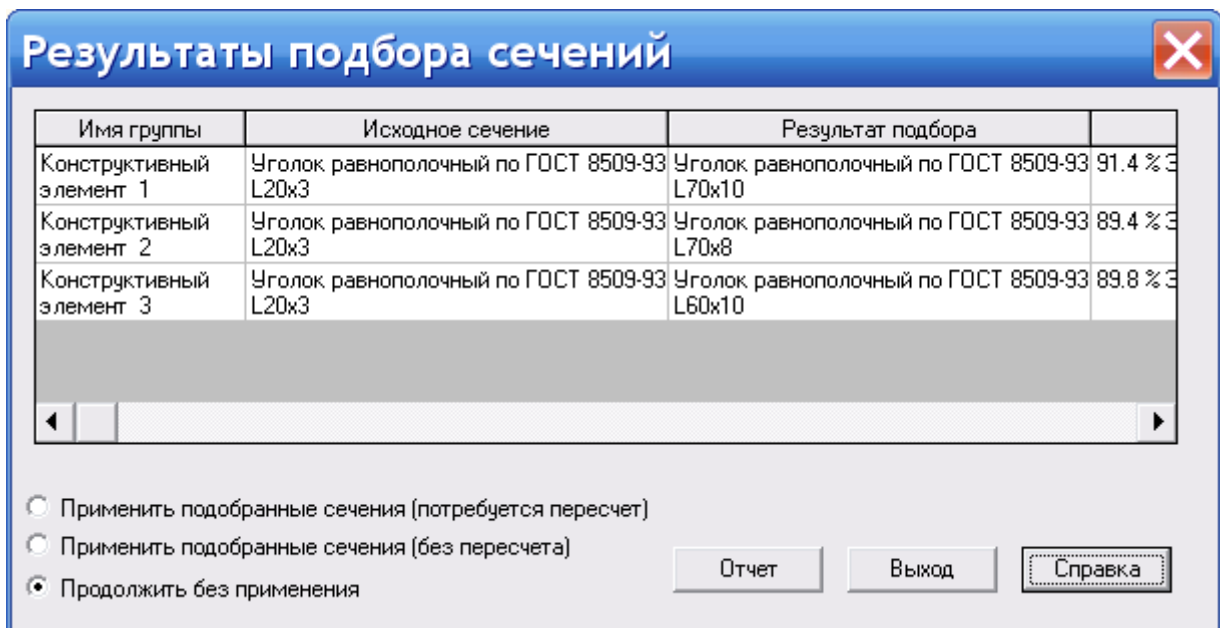


Рис. 4.41. Діалогове вікно **Результати підбору перерізів**.

За результатами підбору можна сформувавши звіт (рис. 4.42) (кнопка **Звіт**). Звіт сформується у вигляді файла у форматі **.rtf**.

Конструктивні елементи

Конструктивний елемент	Група уніфікації	Початковий переріз	Результат підбору
1	---	Кутник рівно-полічковий за ГОСТ 8509-93 L20x3	Кутник рівно-полічковий за ГОСТ 8509-93 L70x10

Рис. 4.42. Приклад сформованого текстового звіту.

Усі наведені вище дії можна здійснити також і через меню програми. Вихід з програми здійснюють через меню **Проект**.

4.9. Приклади статичного розрахунку конструкцій

4.9.1. Балка

Складаємо таблицю (табл. 4.1) координат вузлів будівельної конструкції, наприклад, для металевої балки складної геометричної форми.

Таблиця 4.1
 Координати вузлів металевої ферми

Номер вузла	X, м	Z, м	Номер вузла	X, м	Z, м
1	0	0	4	2,0	1,0
2	1,0	0	5	2,0	0
3	1,0	1,0	6	3,0	0

За допомогою вкладки **Вузли і елементи** будемо на екрані графічного редактора розрахункову схему (рис. 4.42).

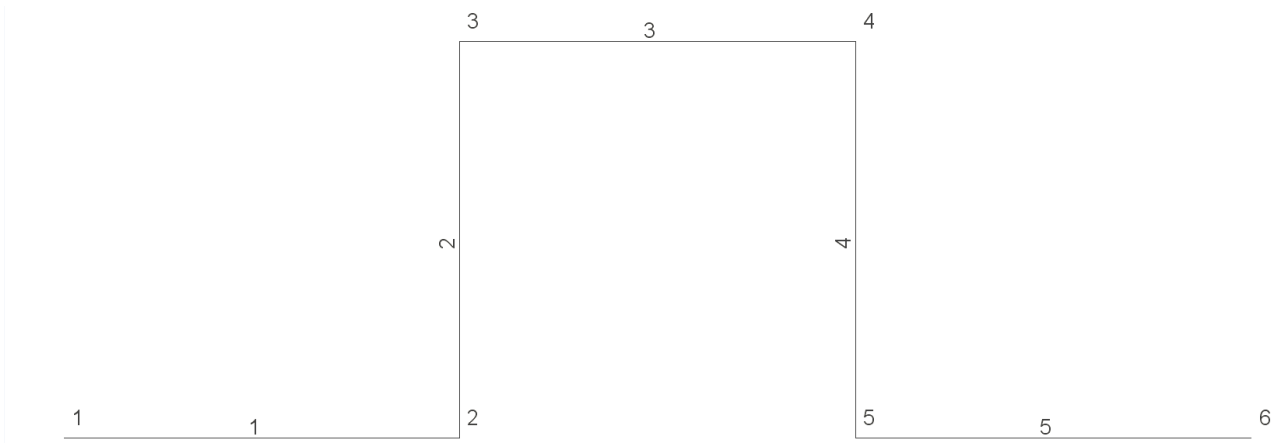


Рис. 4.42. Розрахункова схема балки з поданою нумерацією вузлів (увімкнені команди **Номери вузлів** та **Номери елементів** на панелі **Фільтри відображення**).

За допомогою вкладки **Призначення** надаємо конструкції певну жорсткість та встановлюємо зв'язки у вузлах (у вузлі за номером 1 формуємо защемлення, всі інші вузли – вільні).

За допомогою вкладки **Завантаження** прикладаємо у вузлі за номером 6 зосереджену силу $F=10$ кН (рис. 4.43).

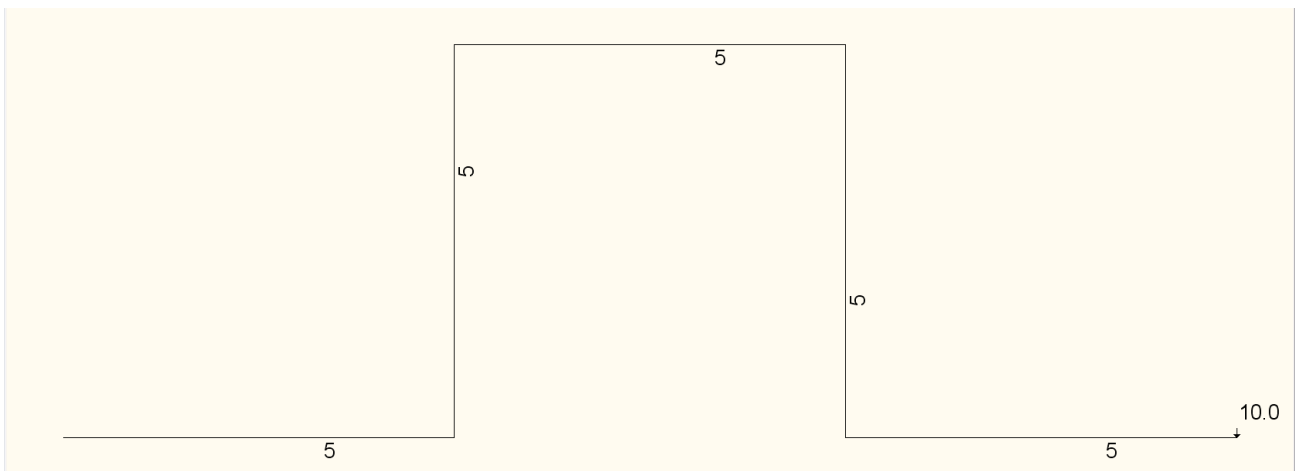
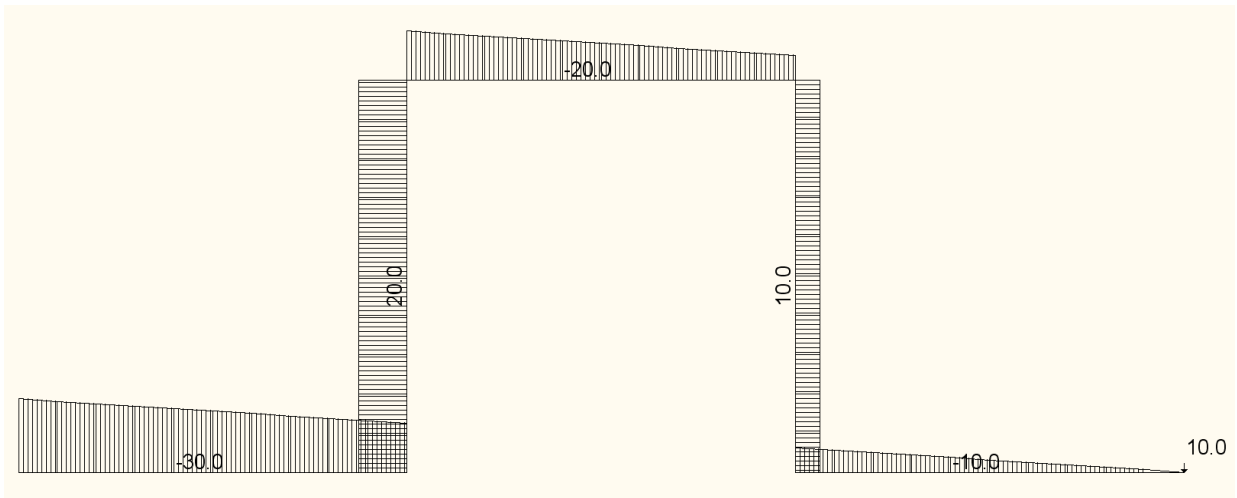


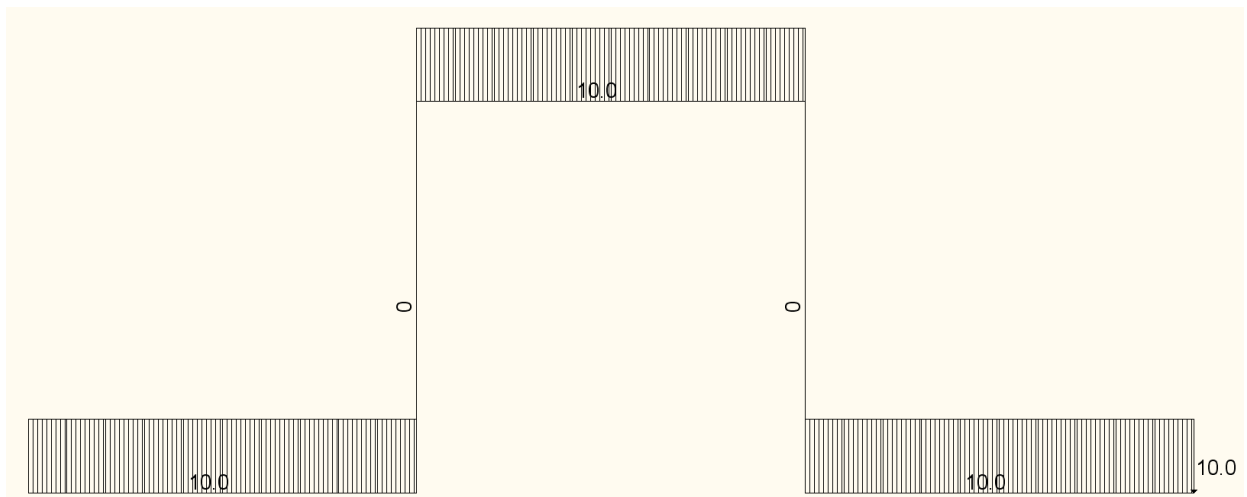
Рис. 4.43. Розрахункова схема балки (увімкнені команди **Вузлові навантаження**, **Значення навантажень** та **Типи елементів** на панелі **Фільтри відображення**).

Після проведення статичного розрахунку та за допомогою вкладки **Епюри зусиль** система побудує епюри згинальних моментів M_y (зусилля подано в кН*м), перерізуючих Q_z (зусилля подано в кН) та нормальних сил N (зусилля подано в кН) (рис. 4.44).

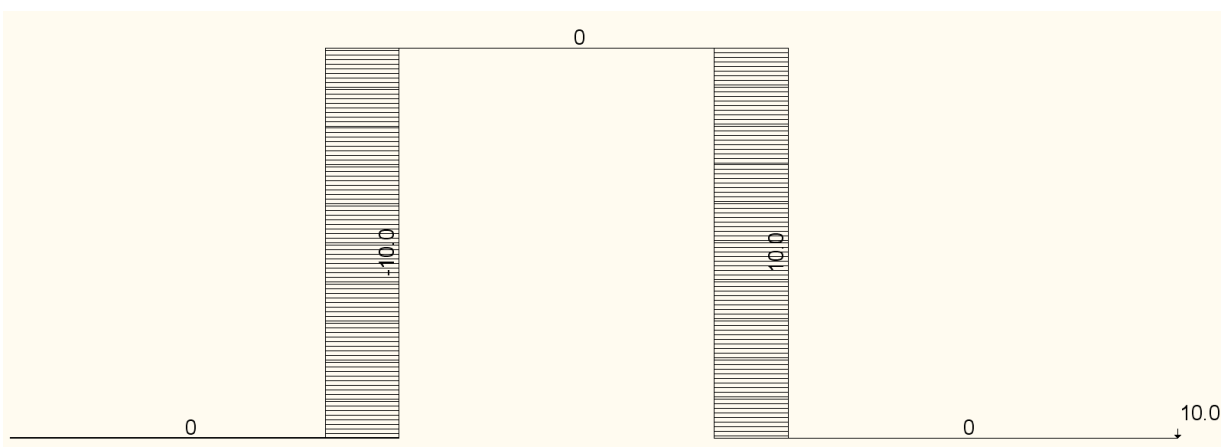
Додатне значення числа на епюрі свідчить про те, що стрижень працює на розтяг, від'ємне значення – стрижень працює на стиск.



а)



б)



в)

Рис. 4.44. Побудовані за довжиною балки епюри згинальних моментів M_y (а), перерізуючих Q_z (б) та нормальних N (в) сил.

4.9.2. Ферма

Складаємо таблицю (табл. 4.2) координат вузлів будівельної конструкції, наприклад, для металевої кроквяної ферми.

Таблиця 4.2

Координати вузлів металевої ферми

Номер вузла	X, м	Z, м	Номер вузла	X, м	Z, м
1	0	0	7	10,0	0
2	1,67	0,44	8	8,33	0
3	3,33	0,88	9	6,66	0
4	5,0	1,32	10	5,0	0
5	6,67	0,88	11	3,33	0
6	8,34	0,44	12	1,66	0

За допомогою вкладки **Вузли і елементи** будуюмо на екрані графічного редактора розрахункову схему (рис. 4.45, 4. 46).

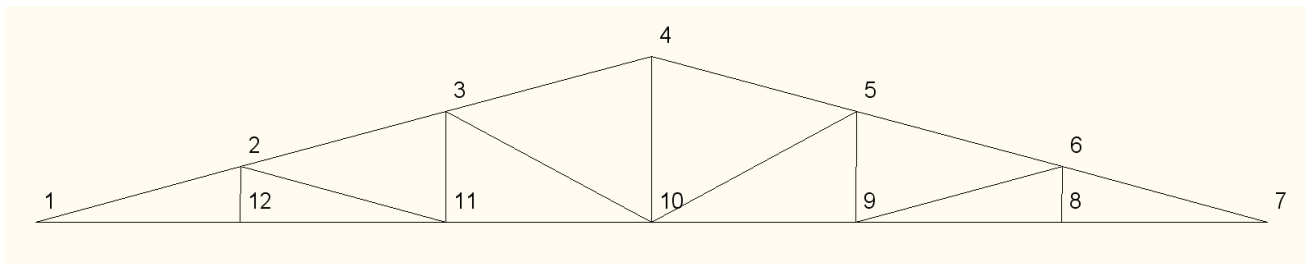


Рис. 4.45. Розрахункова схема металевої ферми з поданою нумерацією вузлів (увімкнена команда **Номери вузлів** на панелі **Фільтри відображення**).

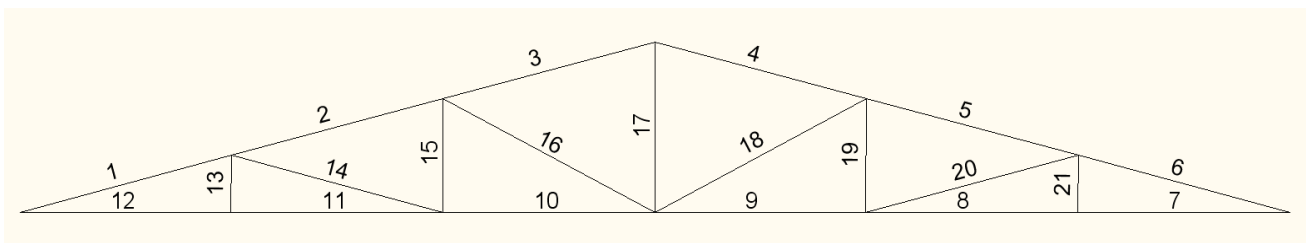


Рис. 4.46. Розрахункова схема металевої ферми з поданою нумерацією стрижнів (елементів) (увімкнена команда **Номери елементів** на панелі **Фільтри відображення**).

За допомогою вкладки **Призначення** надаємо конструкції певну жорсткість та встановлюємо зв'язки у вузлах. Вузол за

номером 1 формуємо як шарнірно-нерухому опору, а вузол за номер 7 – шарнірно-рухому опору. Всі інші вузли – вільні.

За допомогою вкладки **Завантаження** прикладаємо у вузлах по верхньому поясу металевої ферми зосереджені сили (рис. 4.47).

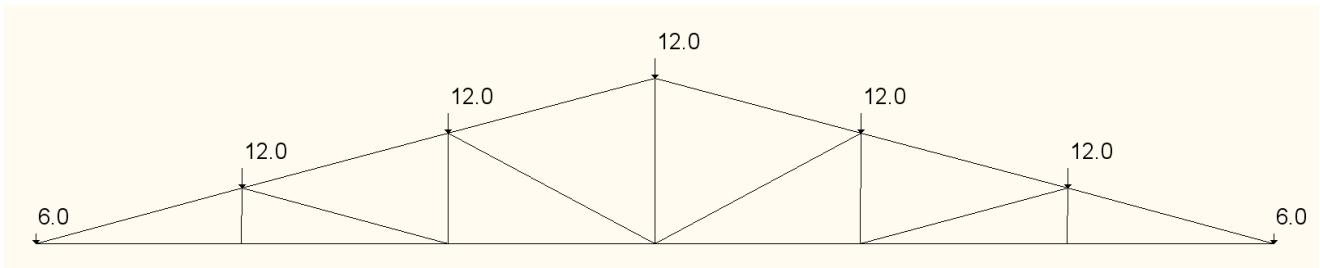


Рис. 4.47. Розрахункова схема металевої ферми (увімкнені команди **Вузлові навантаження** та **Значення навантажень** панелі **Фільтри відображення**).

Якщо навантаження прикладати у вузлах ферми, тоді стрижні ферми працюють в основному на центральний стиск або розтяг. Після проведення статичного розрахунку та за допомогою вкладки **Епюри зусиль** система побудує епюру нормальних сил **N** (зусилля подано в кілоньютонах (кН) (рис. 4.48).

Додатне значення числа на епюрі свідчить про те, що стрижень працює на розтяг, від'ємне значення – стрижень працює на стиск.

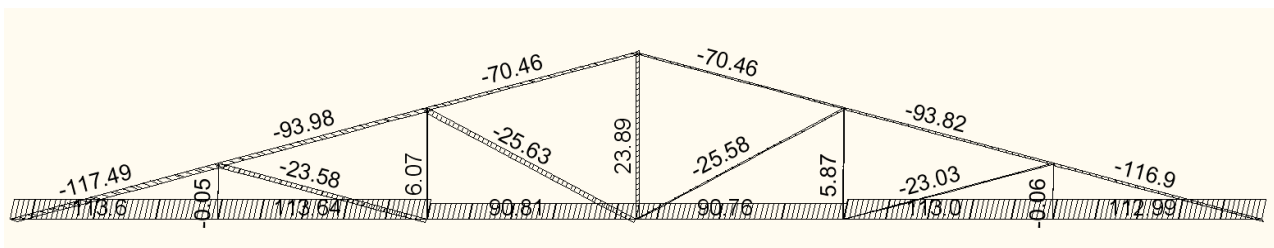


Рис. 4.48. Побудована епюра **N** у стрижнях металевої ферми.

За допомогою команд вкладки **Деформації** можна простежити, як відбувається переміщення вузлів від прикладеного навантаження (рис. 4.49).

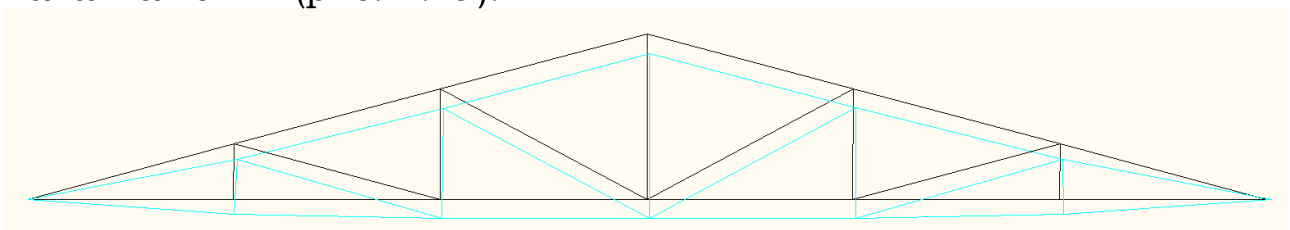


Рис. 4.49. Можливі переміщення вузлів металевої ферми.



ПІДБІР СТРИЖНЕВОЇ АРМАТУРИ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

5.1. Початок роботи

Запускаємо програму **SCAD Office**. У вікні, що відкриється, курсором мишки активуємо піктограму **Створити новий проект** (рис. 5.1).

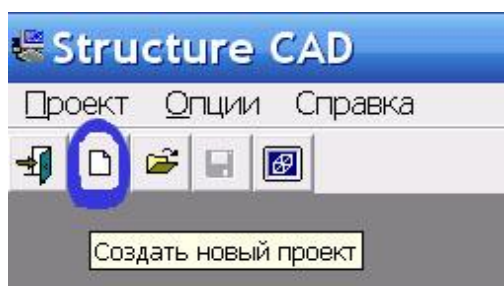


Рис. 5.1. Вікно програми SCAD.

У вікні, що відкриється (рис. 5.2), звертаємо увагу на правильність вибору **Норм проектування** та **одиниць виміру**. Якщо все влаштовує, активуємо кнопку **ОК**.

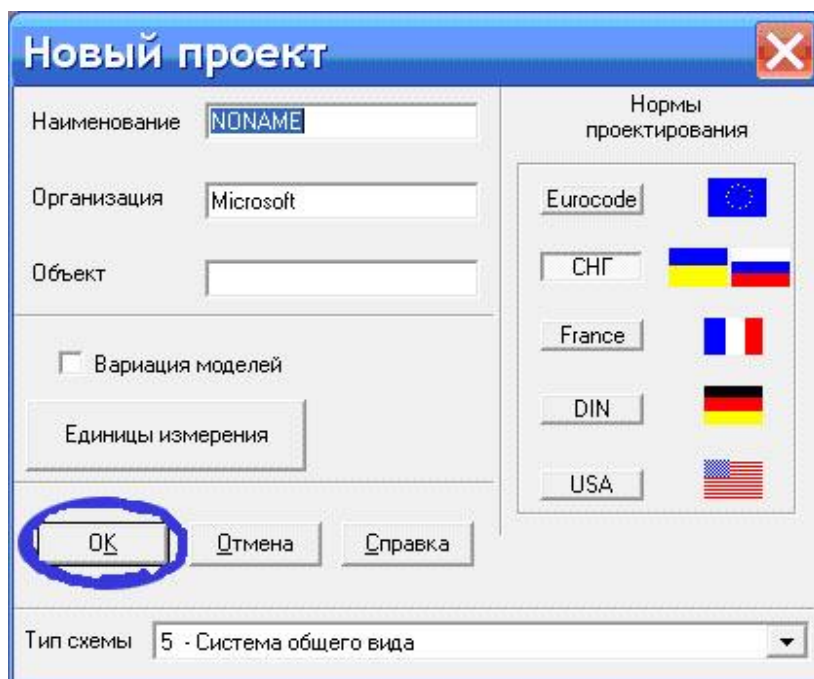


Рис. 5.2. Діалогове вікно **Новий проект**.

У діалоговому вікні **Створення нового проекту SCAD** у поле **Ім'я файла** вводимо назву файла і вибираємо команду **Зберегти** (рис. 5.3).

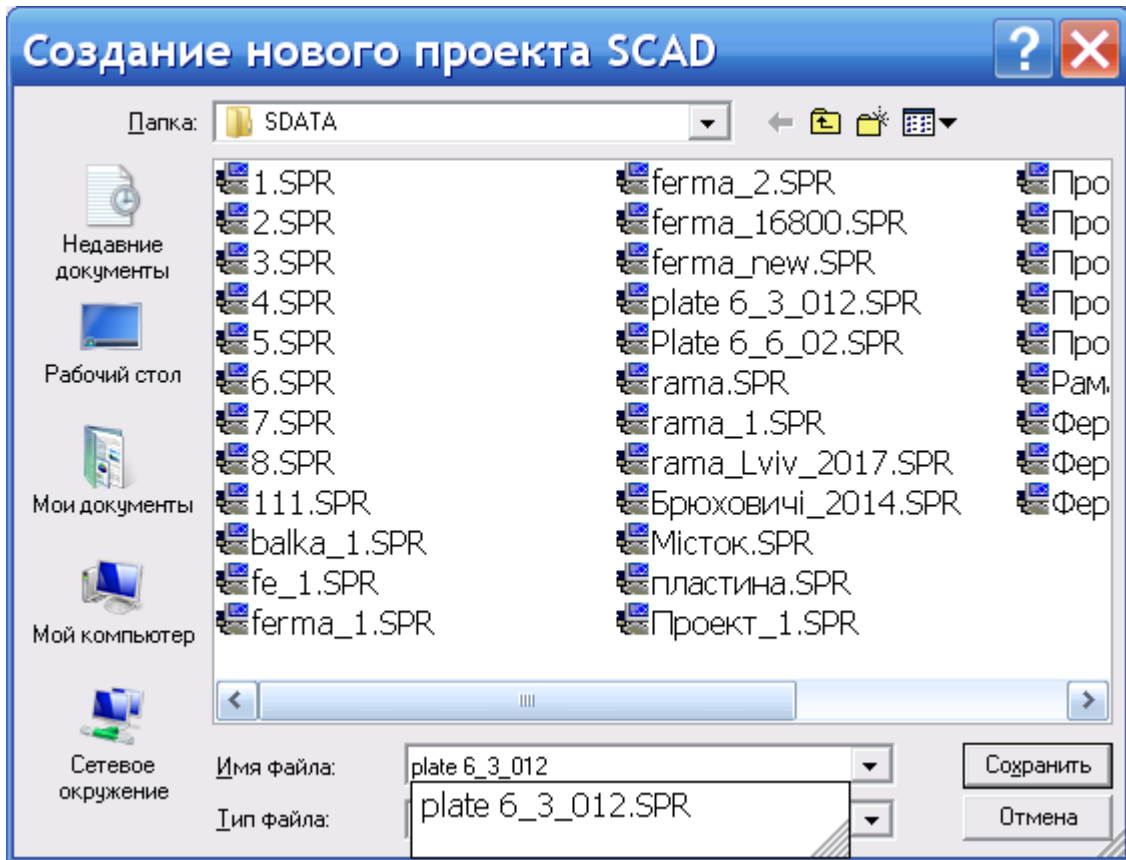


Рис. 5.3. Діалогове вікно **Створення нового проекту SCAD**.

Відкриється вікно **Дерево проекту** (рис. 5.4), в якому необхідно в каталозі **Початкові дані** вибрати **Розрахункова схема**.

5.2. Формування розрахункової схеми

Роботу розпочинаємо з вкладки **Схема** (рис. 5.5). Після її активації зміниться набір піктограм (рис. 5.6).

Вибираємо мишкою піктограму **Генерація прямокутної сітки елементів на площині** (четверта піктограма зліва) (див. рис. 5.6).

У відповідь система видасть табличку **Генерація пластинчастої схеми** (рис. 5.7). Якщо ми хочемо розрахувати залізобетонну плиту розмірами у плані 6,0 x 6,0 м, тоді потрібно її розбивати на плоскі скінченні елементи розміром 0,5 x 0,5 м кожен.

Крок 0,5 м є оптимальним і дозволяє отримати задовільні результати розрахунку.

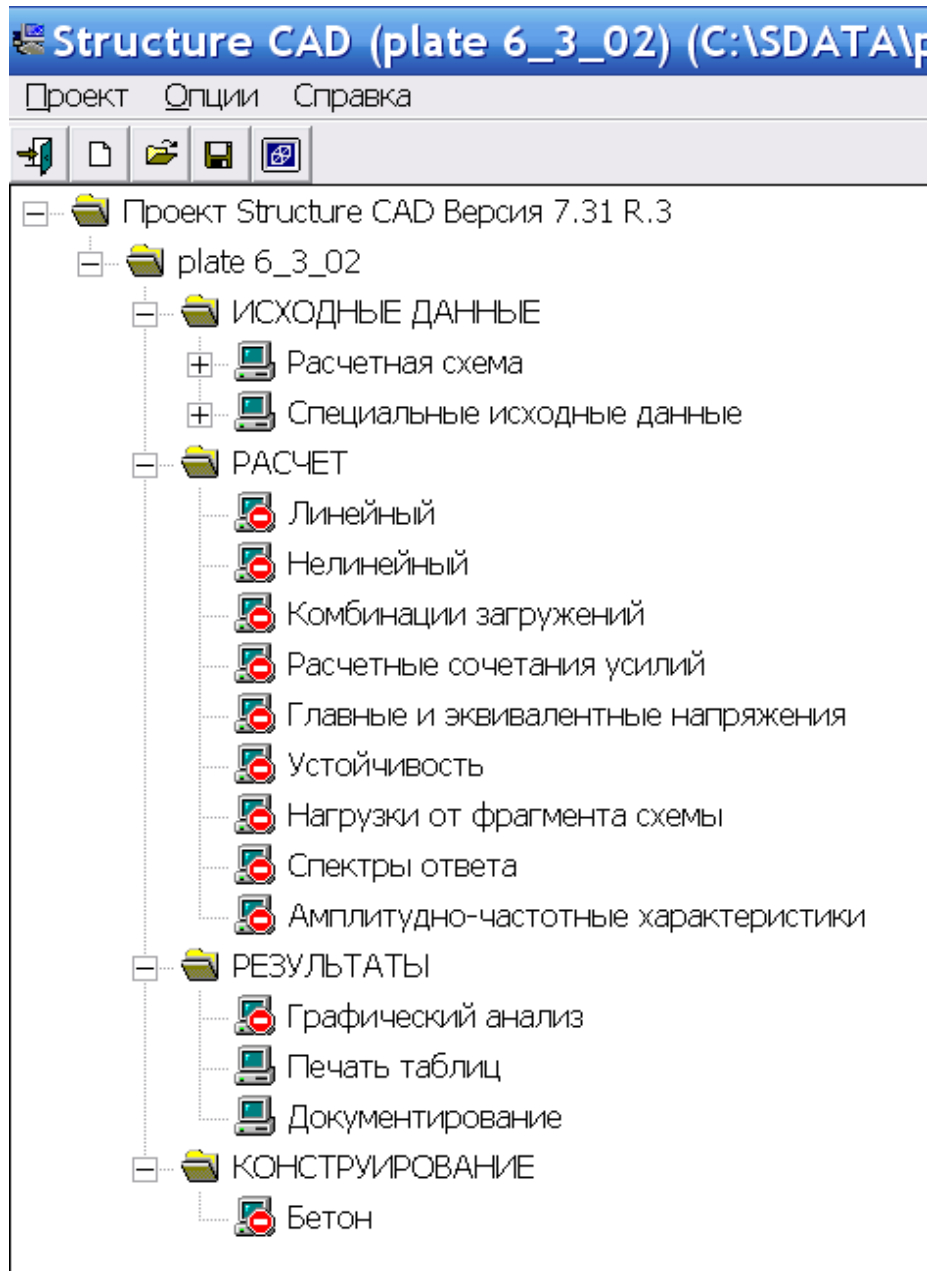


Рис. 5.4. Дерево проекту.

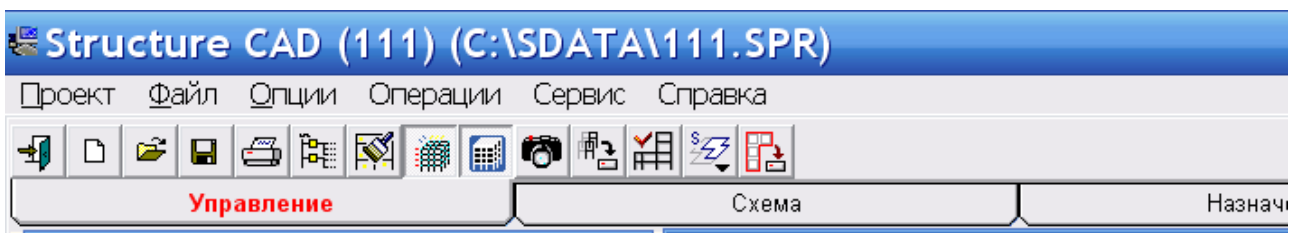


Рис. 5.5. Диалогове вікно графічного препроцесора.

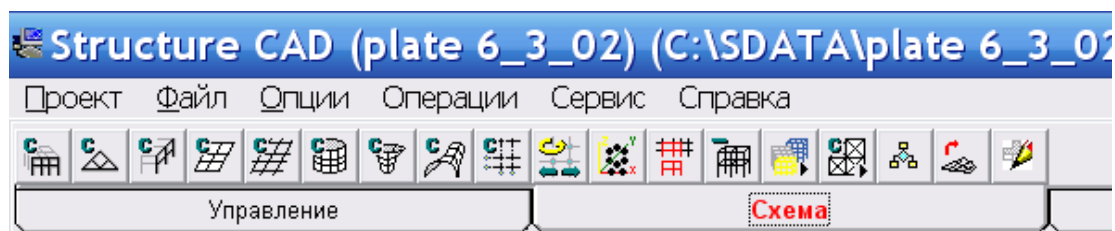


Рис. 5.6. Набір піктограм вкладки **Схема**.

У стовпчику **Крок по осі X** вводимо число **0,5**, у стовпчику **Кількість кроків** вводимо число **12** ($0,5 \text{ м} \times 12 = 6 \text{ м}$ – розмір плити вздовж осі X).

У стовпчику **Крок по осі Y** вводимо число **0,5**, у стовпчику **Кількість кроків** вводимо число **12** ($0,5 \text{ м} \times 12 = 6 \text{ м}$ – розмір плити вздовж осі Y).

Звертаємо увагу на те, що розміри довжини вказані у метрах. Активуємо кнопку **ОК**.

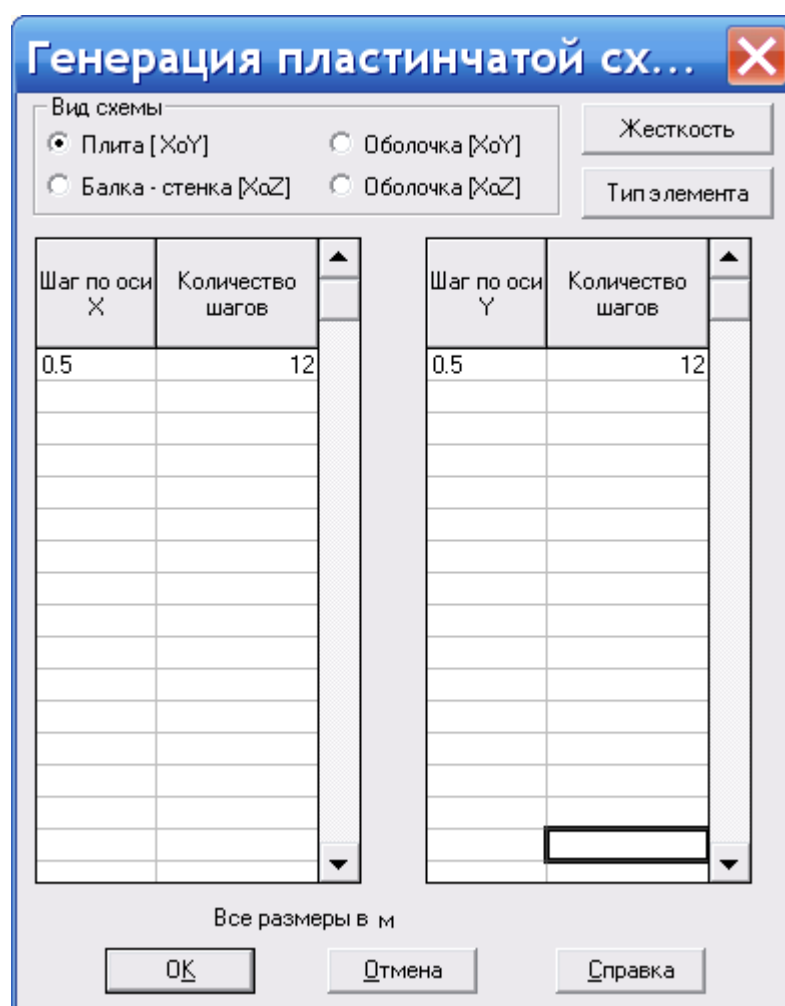


Рис. 5.7. Діалогове вікно **Генерація пластинчастої схеми**.

Система згенерує плиту розмірами 6,0 x 6,0 м, яка розбита на плоскі скінченні елементи розмірами 0,5 x 0,5 м кожен (рис. 5.8). У нашому випадку приймаємо варіант, коли залізобетонна плита оперта по контуру на цегляні стіни.

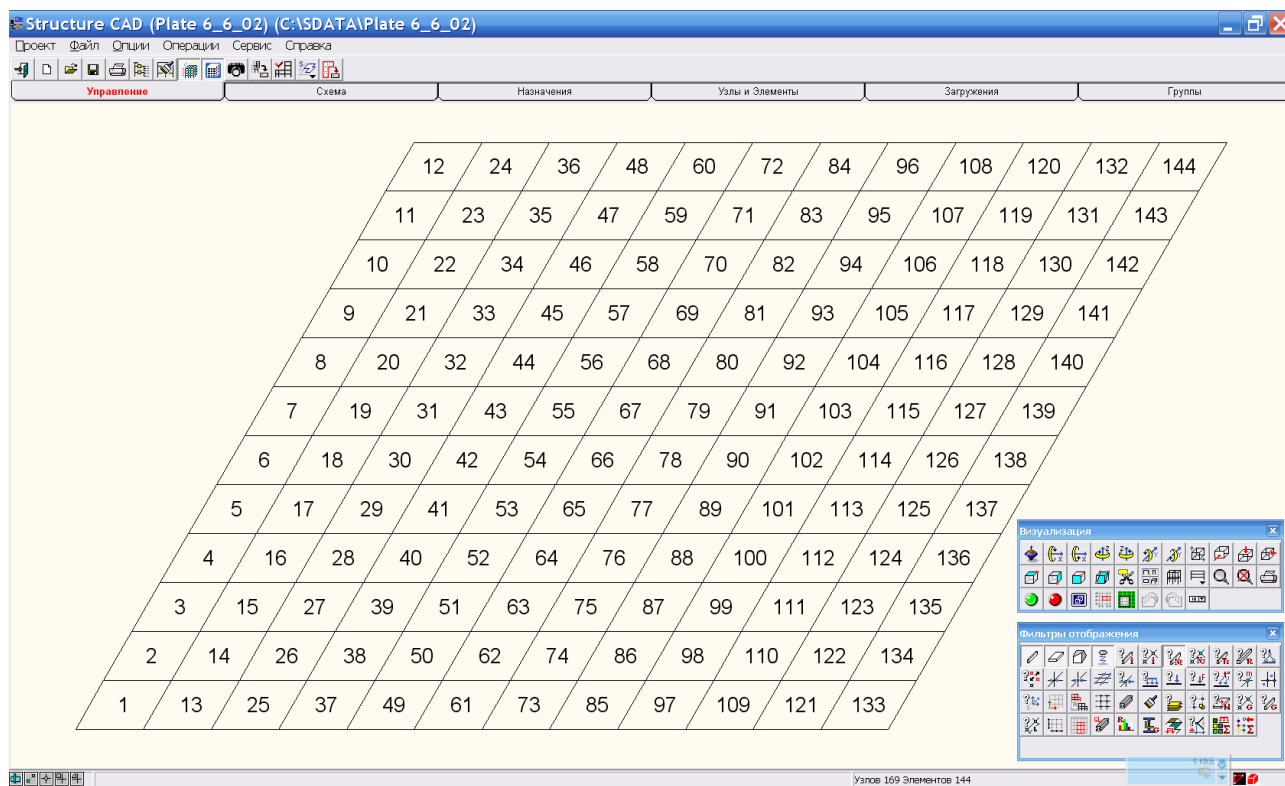


Рис. 5.8. Геометрична схема плити.

Якщо потрібно відредагувати (змінити) контур плити, необхідно скористатися командою **Витерти елементи** вкладки **Вузли та елементи**.

5.3. Призначення жорсткості плити та закріплення її вузлів

Активуємо вкладку **Призначення** та виберемо піктограму **Призначення жорсткостей пластинам** (друга зліва) (рис. 5.9).

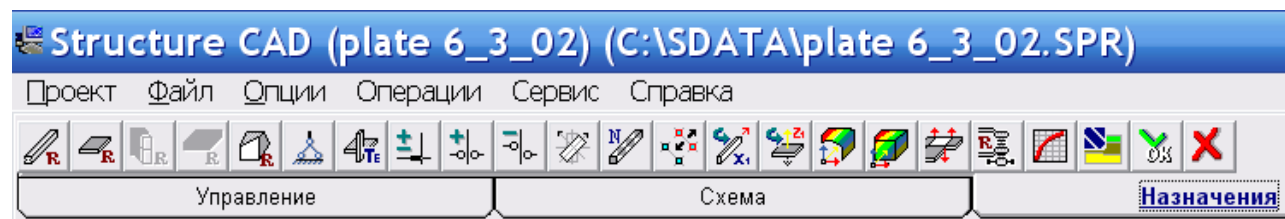


Рис. 5.9. Панель інструментів вкладки **Призначення**.

Піктограма відкриє діалогове вікно **Жорсткості пластин** (рис. 5.10). У полі **Матеріали** необхідно вибрати клас бетону (у нашому випадку бетон важкий В25), а також вказати **Товщину пластини** (у нашому випадку 0,2 м). Активуємо кнопку **ОК**.

За допомогою курсора мишки необхідно виділити всі елементи плити та на завершення активізувати кнопку **ОК** на панелі інструментів **Призначення**.

Під час виділення курсором мишки елементи плити змінюють свій колір, з чорного вони стають червоними.

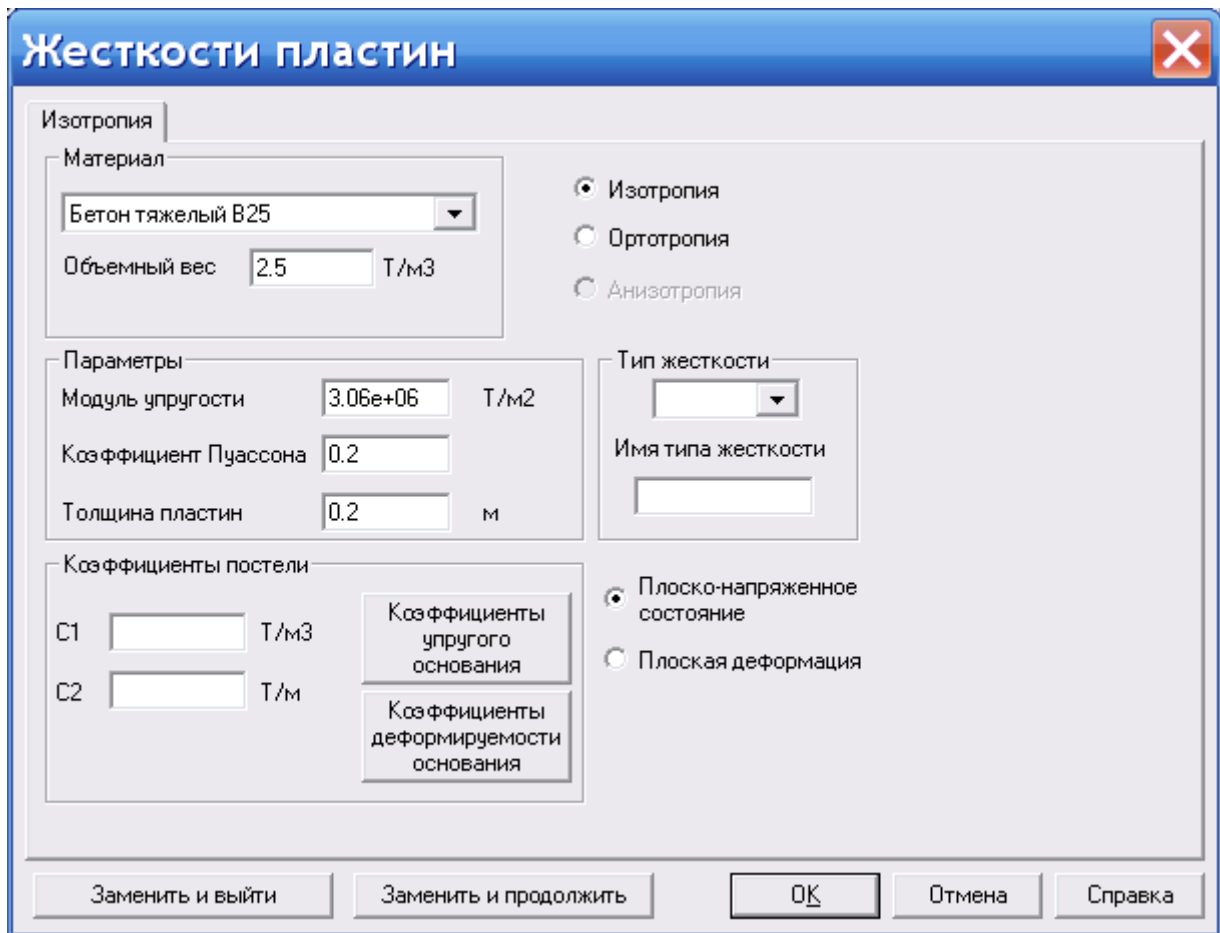
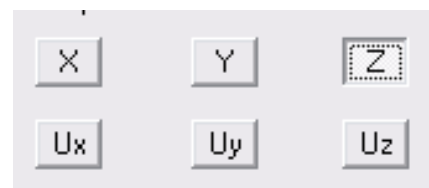


Рис. 5.10. Діалогове вікно **Жорсткості пластин**.

Активуємо курсором мишки піктограму **Встановлення зв'язків у вузлах** (шоста зліва). Система видасть діалогове вікно **Зв'язки** (див. рис. 5.11).

Для вузлів, які будуть опиратися на цегляні стіни (у нашому випадку це всі точки по контуру плити, окрім вузлів А, Б та В), активним буде тільки напрямок зв'язку **Z** (див. рис. 5.12).



Один вузол, який опирається на стіну (у нашому випадку вузол А), буде мати активними напрямки зв'язків **X**, **Y** та **Z** (див. рис. 5.12).

Один вузол, який опирається на стіну (у нашому випадку вузол Б), буде мати активними напрямки зв'язків **X** та **Z** (див. рис. 5.12).

Один вузол, який опирається на стіну (у нашому випадку вузол В), буде мати активними напрямки зв'язків **Y** та **Z** (див. рис. 5.12).

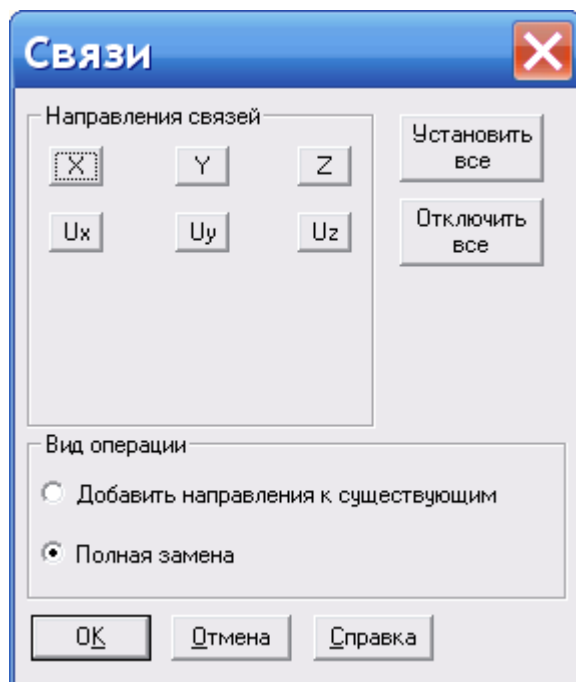
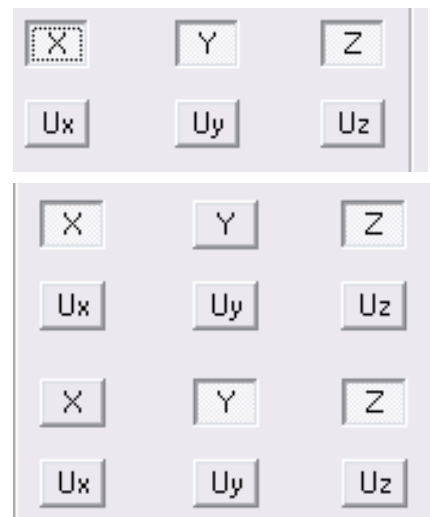


Рис. 5.11. Вікно **Зв'язки**.

Таке закріплення дозволить нашій плиті не мати додаткових переміщень.

За допомогою курсора мишки необхідно виділити всі вузли плити та на завершення активізувати кнопку **ОК** на панелі інструментів **Призначення**.

Під час виділення курсором мишки вузли плити змінюють свій колір із синього на червоний. Змінюючи значення зв'язків, дію для кожного вузла повторюють.

До вузлів, які не мають жодних зв'язків, нічого не застосовують, вони є вільними (у нашому випадку це всі неконтурні вузли, тобто всі внутрішні вузли плити).

За допомогою фільтра **Відображення** та команди **Зв'язки** можна на розрахунковій схемі плити побачити їх розміщення.

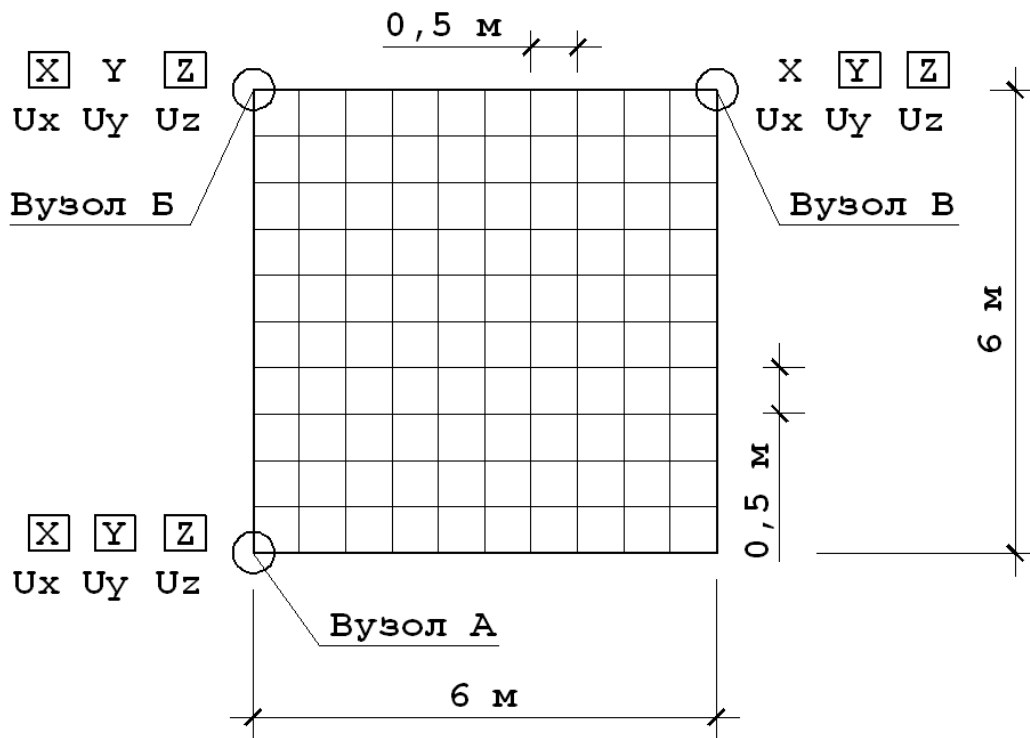


Рис. 5.12. Закріплення вузлів А, Б та В плити.

5.4. Формування навантаження

Вибираємо курсором мишки вкладку **Навантаження** та запускаємо команду **Власна вага** (перша піктограма ряду) (рис. 5.13).

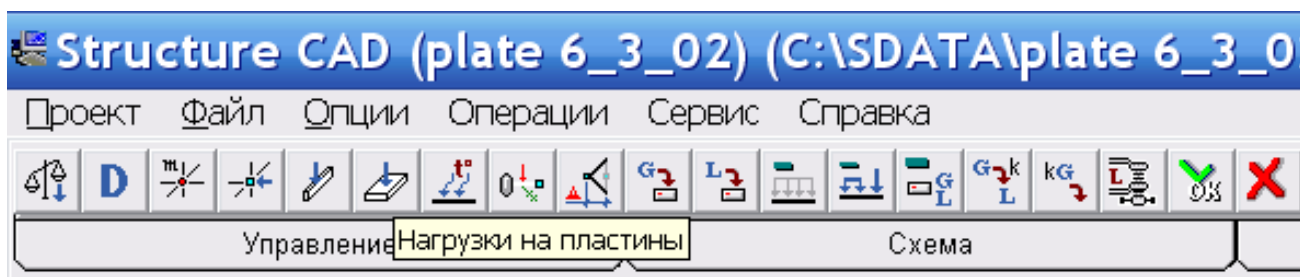


Рис. 5.13. Панель інструментів вкладки **Навантаження**.

Активуємо мишкою команду **Зберегти / додати групу навантажень**. Команда у відповідь відкриє діалогове вікно **Зберегти групу навантажень** (рис. 5.14). У поле **Ім'я групи навантажень** вводимо назву групи (у нашому випадку – **власна вага**) і активуємо кнопку **ОК**.

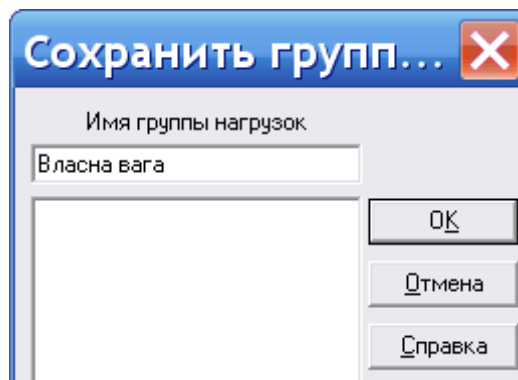


Рис. 5.14. Діалогове вікно **Зберегти групу навантажень**.

Продовжуємо формувати зовнішнє навантаження на плиту, додаючи нормативне значення рівномірно розподіленого тимчасового навантаження. Курсором мишки активуємо команду **Навантаження на пластини** (шоста піктограма зліва) (див. рис. 5.13). Команда у відповідь відкриє діалогове вікно **Формування навантаження на пластинчасті елементи** (рис. 5.15).

У полі **Значення навантаження** вводимо величину навантаження (у нашому випадку – 0,15 т/кв.м). Звертаємо увагу на вид навантаження, одиниці вимірювання та напрямок дії навантаження (див. рис. 5.15). Активуємо кнопку **ОК**.

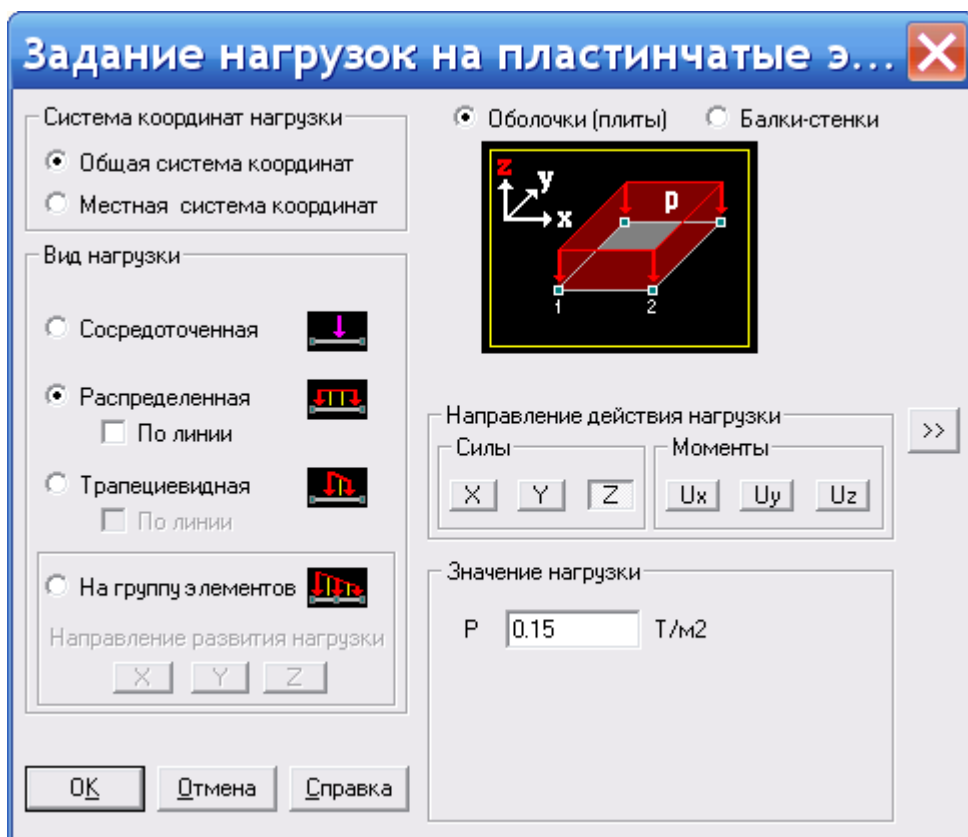


Рис. 5.15. Діалогове вікно **Формування навантаження на пластинчасті елементи**.

За допомогою курсора мишки необхідно виділити всі елементи плити та на завершення активізувати кнопку **ОК** на панелі інструментів **Завантаження**.

Під час виділення курсором мишки елементи плити змінюють свій колір з чорного на червоний.

Активуємо мишкою команду **Зберегти / додати групу навантажень**. Команда у відповідь відкриє діалогове вікно **Зберегти групу навантажень** (рис. 5.16). У поле **Ім'я групи навантажень** вводимо назву групи (у нашому випадку – **нормативне навантаження**) і активуємо кнопку **ОК**.

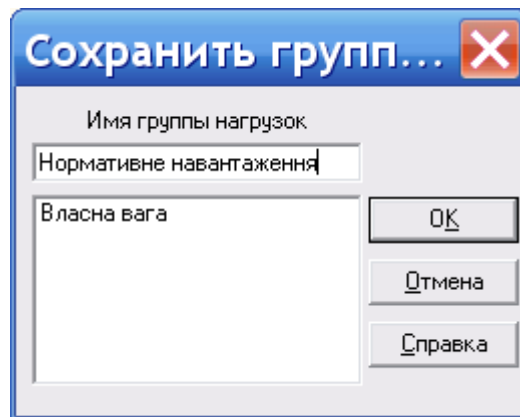


Рис. 5.16. Діалогове вікно **Зберегти групу навантажень**.

Вибираємо курсором мишки вкладку **Керування** та піктограму **Вийти до екрану керування проектом** (шоста піктограма зліва) (рис. 5.17).

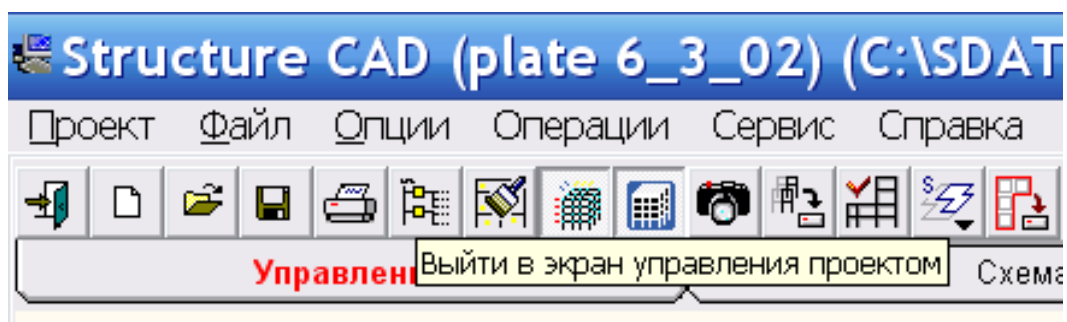


Рис. 5.17. Панель інструментів вкладки **Керування**.

Ми повернемося до **Дерева проекту** (рис. 5.18), де у каталозі **Початкові дані** виберемо команду **Спеціальні початкові дані**, а потім **Розрахункові поєднання зусиль**.

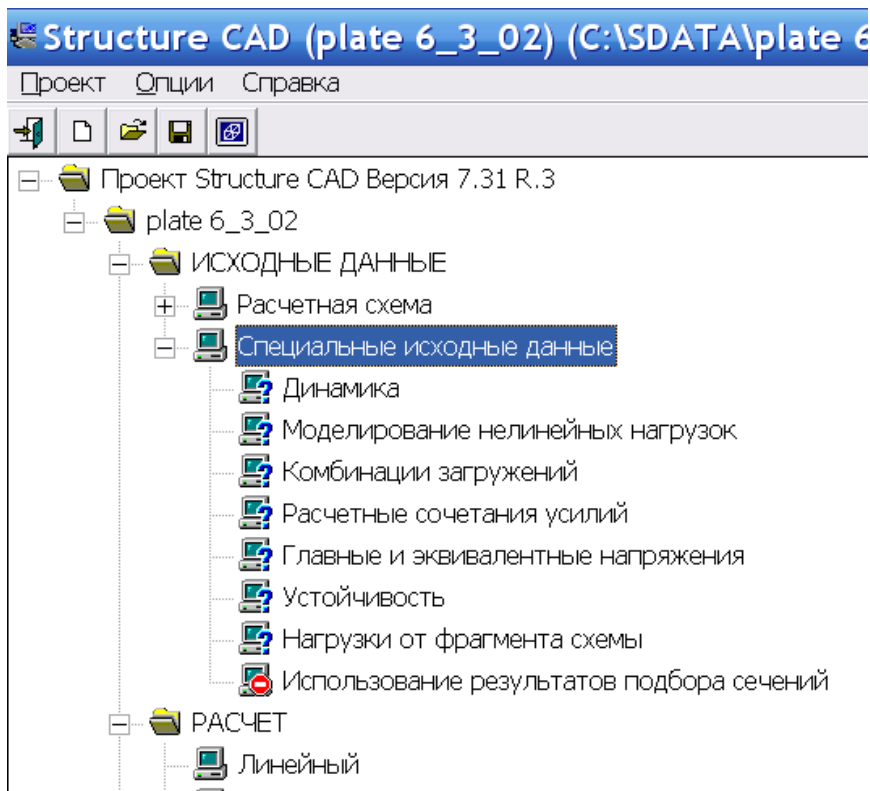


Рис. 5.18. Дерево проекту.

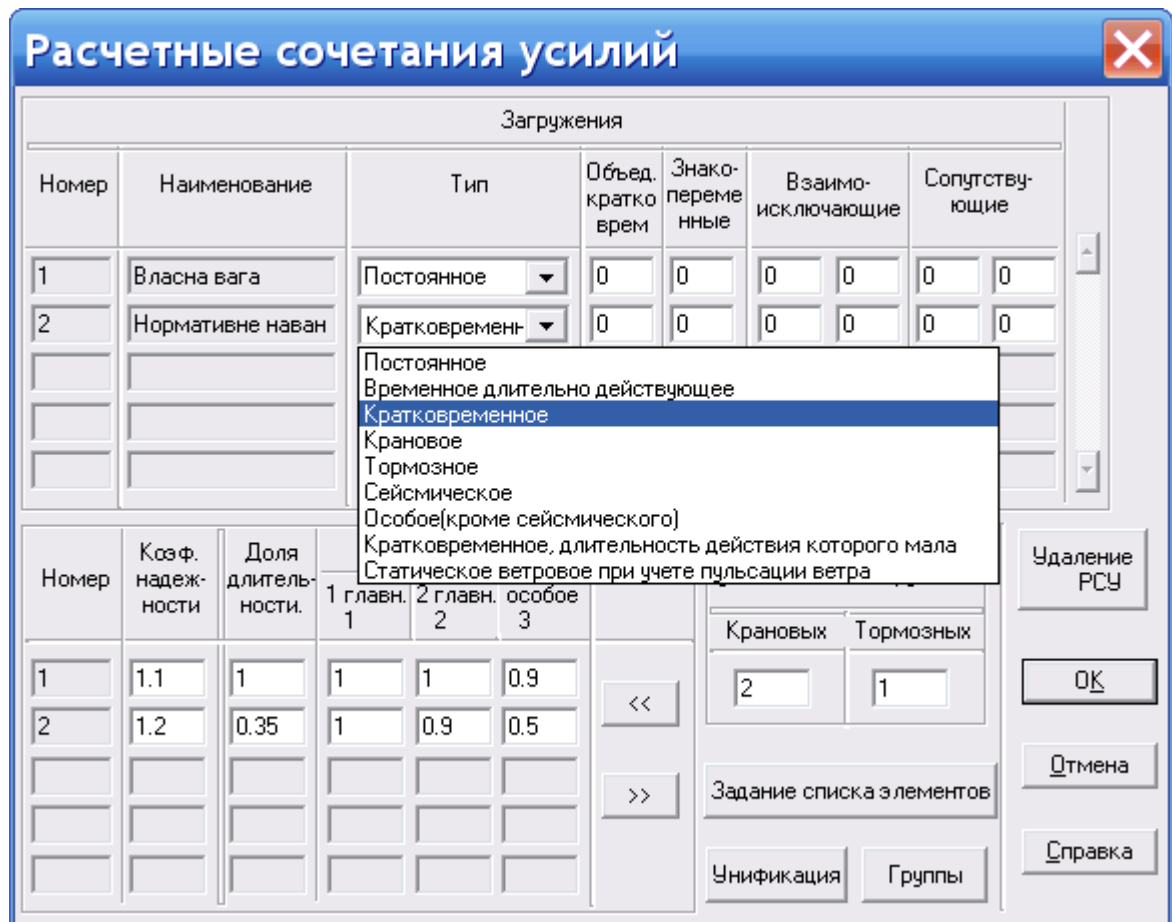


Рис. 5.19. Диалогове вікно **Розрахункове поєднання зусиль**.

Система видасть діалогове вікно **Розрахункове поєднання зусиль** (див. рис. 5.19). У полі **Тип** вибираємо **постійне** для власної ваги та **короткотривале** для нормативного навантаження. Активуємо кнопку **ОК**.

5.5. Статичний розрахунок залізобетонної плити

Повернувшись до **Дерева проекту** (див. рис. 5.18), у каталозі **Розрахунок** виберемо команду **Лінійний**.

Система видасть діалогове вікно **Параметри розрахунку** (рис. 5.20). Активуємо кнопку **ОК**.

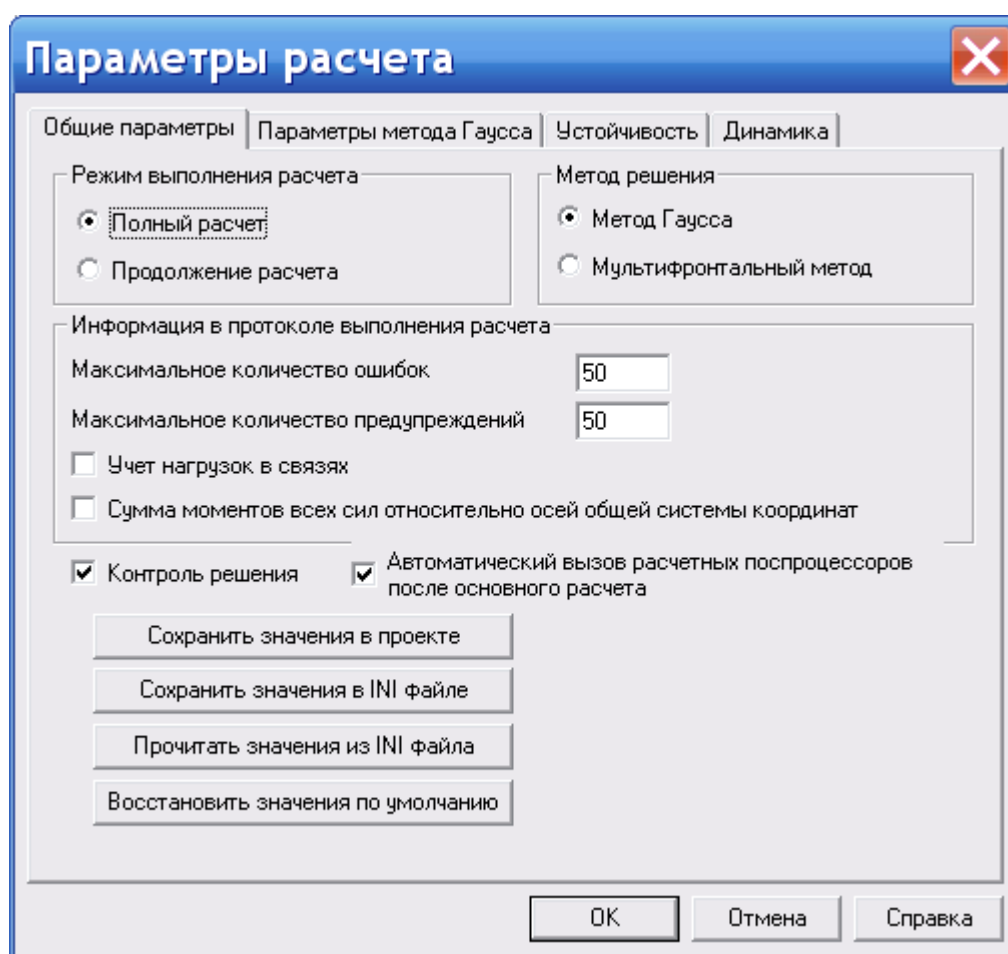


Рис. 5.20. Діалогове вікно **Параметри розрахунку**.

Система інформаційним вікном (рис. 5.21) проінформує нас, що були внесені певні зміни і попросить їх зберегти. Вибираємо кнопку **Так**.

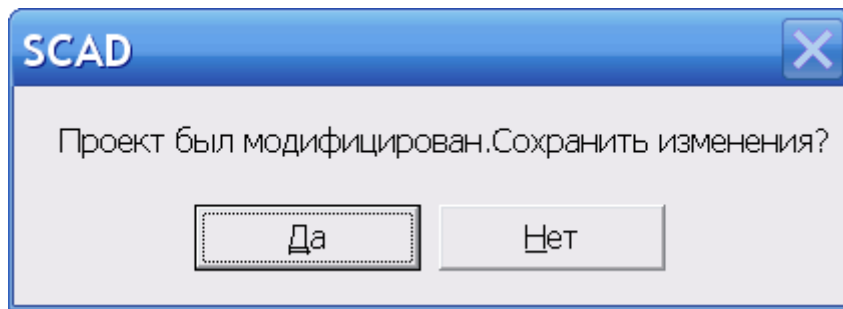


Рис. 5.21. Інформаційне вікно системи.

Система виведе на екран три інформаційні вікна: **Розрахункова схема**, **Матриця**, **Протокол виконання розрахунку** (рис. 5.22).

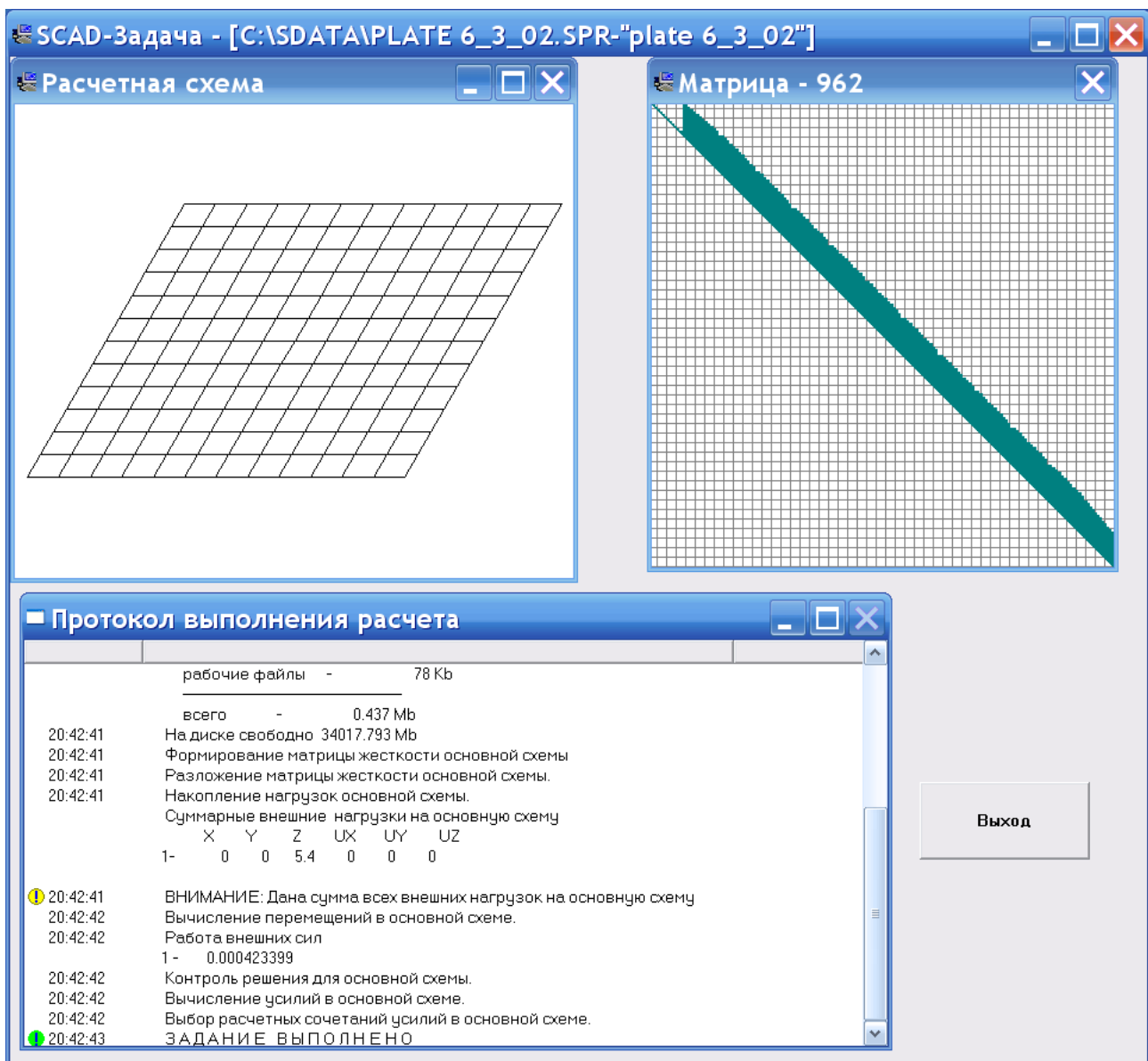


Рис. 5.22. Інформаційні вікна **Розрахункова схема**, **Матриця**, **Протокол виконання розрахунку**.

Якщо у **Протоколі виконання розрахунку** останній рядок містить текст **Завдання виконано**, вибираємо кнопку **Вихід**. В іншому разі, коли **Завдання не виконано**, потрібно повертатися до попередніх налаштувань та шукати помилки, які могли бути допущені.

5.6. Формування групи елементів

Повернемося до **Дерева проекту** (див. рис. 5.18), де у каталозі **Результати** виберемо команду **Графічний аналіз**, а потім вкладку **Групи**.

Вибираємо курсором мишки команду **Робота з групами вузлів та елементів** (друга піктограма зліва) (рис. 5.23).

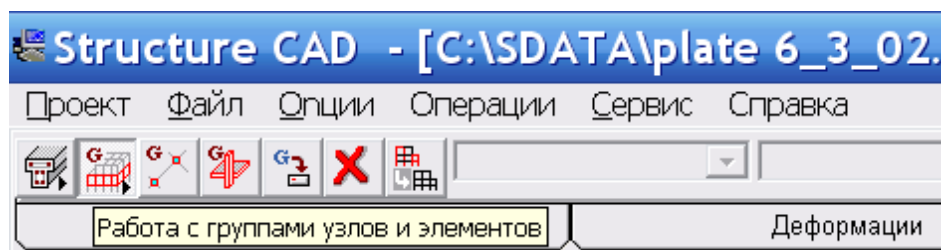


Рис. 5.23. Панель інструментів вкладки **Групи**.

Активуємо піктограму **Виділення групи елементів** (четверта піктограма зліва) (див. рис. 5.23).

За допомогою курсора мишки необхідно виділити всі елементи плити. Під час виділення курсором мишки елементи плити змінюють свій колір з чорного на червоний.

Вибираємо піктограму **Збереження / модифікація групи**, яка у свою чергу відкриє діалогове вікно **Групи елементів** (рис. 5.24).

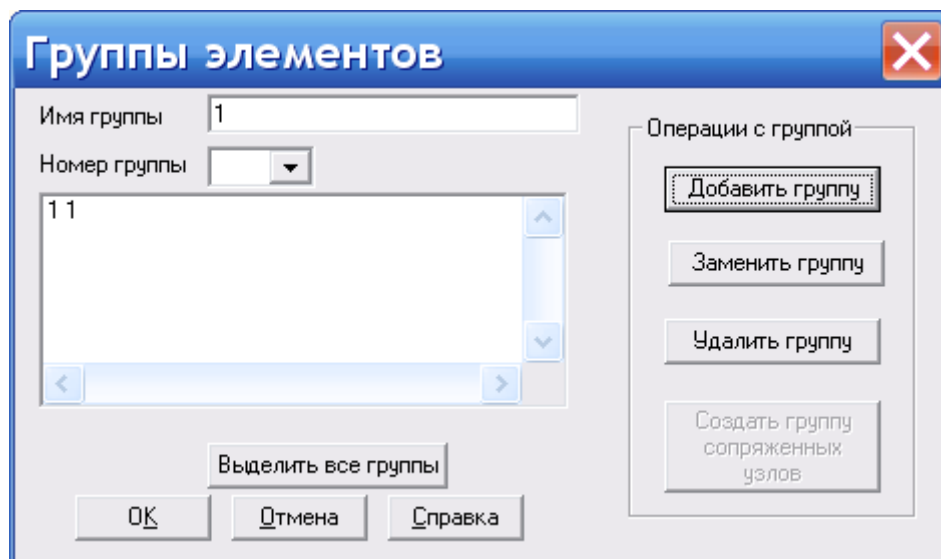


Рис. 5.24. Діалогове вікно **Групи елементів**.

У полі **Ім'я групи** введемо назву групи (у нашому випадку **1**) та активуємо кнопку **Додати групу**, потім кнопку **ОК**.

Активуємо піктограму **Підготовка списків елементів для підбору арматури** (перша піктограма на панелі) (див. рис. 5.23). Встановлюємо **ім'я елемента** (у нашому випадку – **1**) та **тип елемента у групі** (у нашому випадку – **пластина**). На завершення активуємо кнопку **ОК** на тій же панелі інструментів.

Вибираємо вкладку **Керування**, потім команду **Вийти до екрану керування проектом**. Система нагадає інформаційним вікном (рис. 5.25), що були внесені певні зміни і попросить їх зберегти. Вибираємо кнопку **Так**.

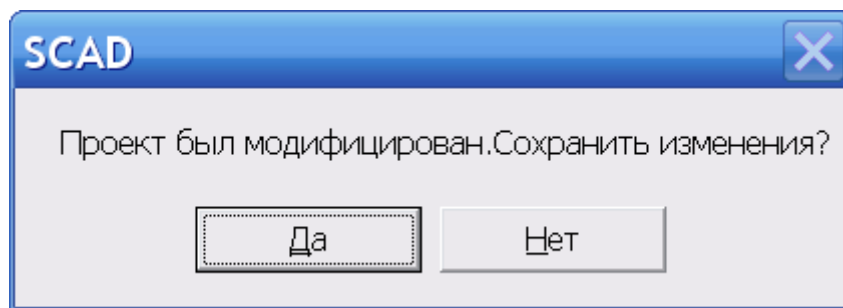


Рис. 5.25. Інформаційне вікно системи.

Знову повернемося до **Дерева проекту** (див. рис. 5.18), де у каталозі **Конструювання** виберемо команду **Бетон**.

Система відкриє діалогове вікно **Армування** з набором вкладок: **Характеристики груп**, **Бетон**, **Арматура**, **Тріщиностійкість** (рис. 5.26).

Активуємо кнопку **Імпорт усіх груп**. Система видасть інформаційне вікно (рис. 5.27), в якому попросить підтвердити дію імпортування даних. Вибираємо курсором мишки кнопку **ОК**.

У поля **Віддалей від центральної точки арматури** внесемо необхідні значення (у нашому випадку вони дорівнюють: $a_1 = 2$ см, $a_2 = 3,5$ см, $a_3 = 3,5$ см та $a_4 = 2$ см). Зверніть увагу, що в полі **Модуля армування** повинна бути виставлена опція **Плита. Оболонка**. Активуйте також поле **Підбір за тріщиностійкістю**.

Після вибору вкладки **Бетон** зміст діалогового вікна дещо зміниться (рис. 5.28). Необхідно вибрати **Вид бетону** (у нашому випадку – **важкий**) та **Клас бетону** (у нашому випадку **B25**), умови твердіння бетону, коефіцієнт умови твердіння тощо.

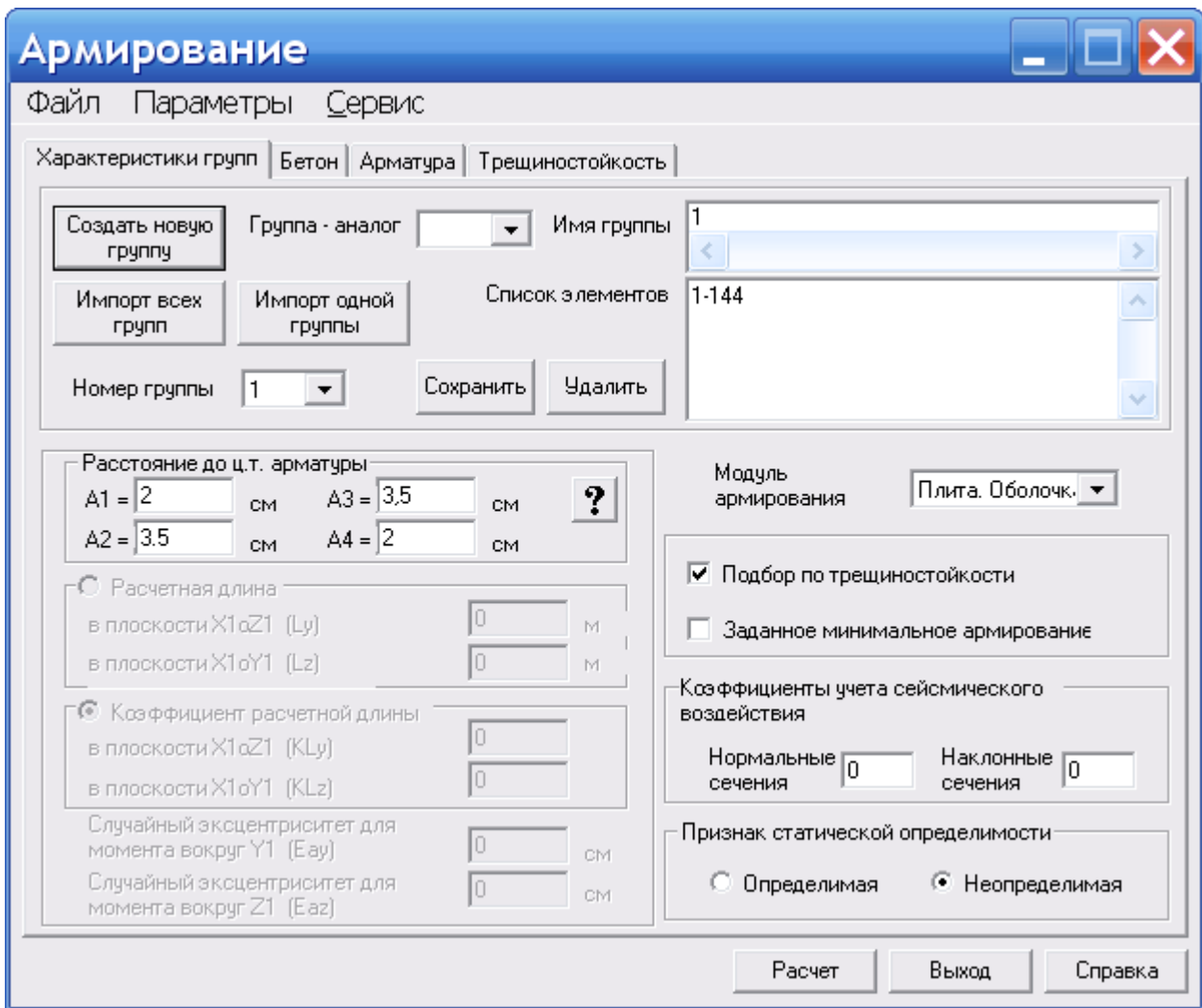


Рис. 5.26. Диалогове вікно **Армування**.
Вкладка **Характеристики групп**.

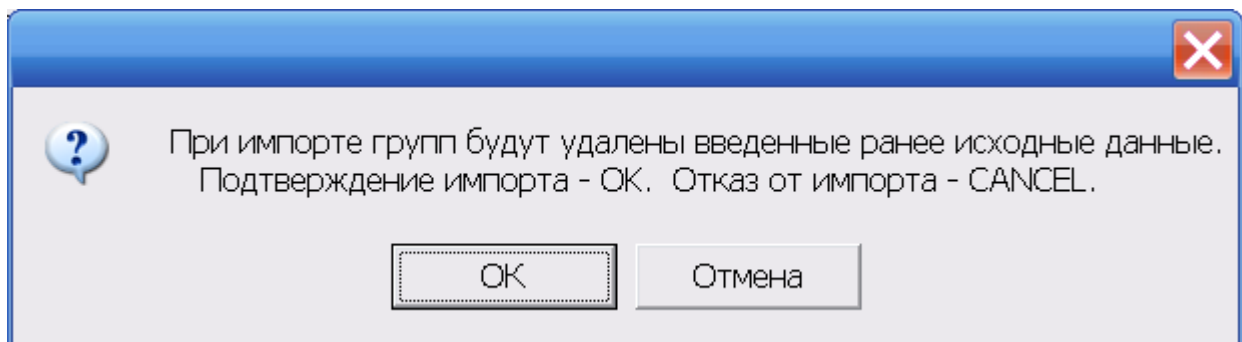


Рис. 5.27. Інформаційне вікно системи.

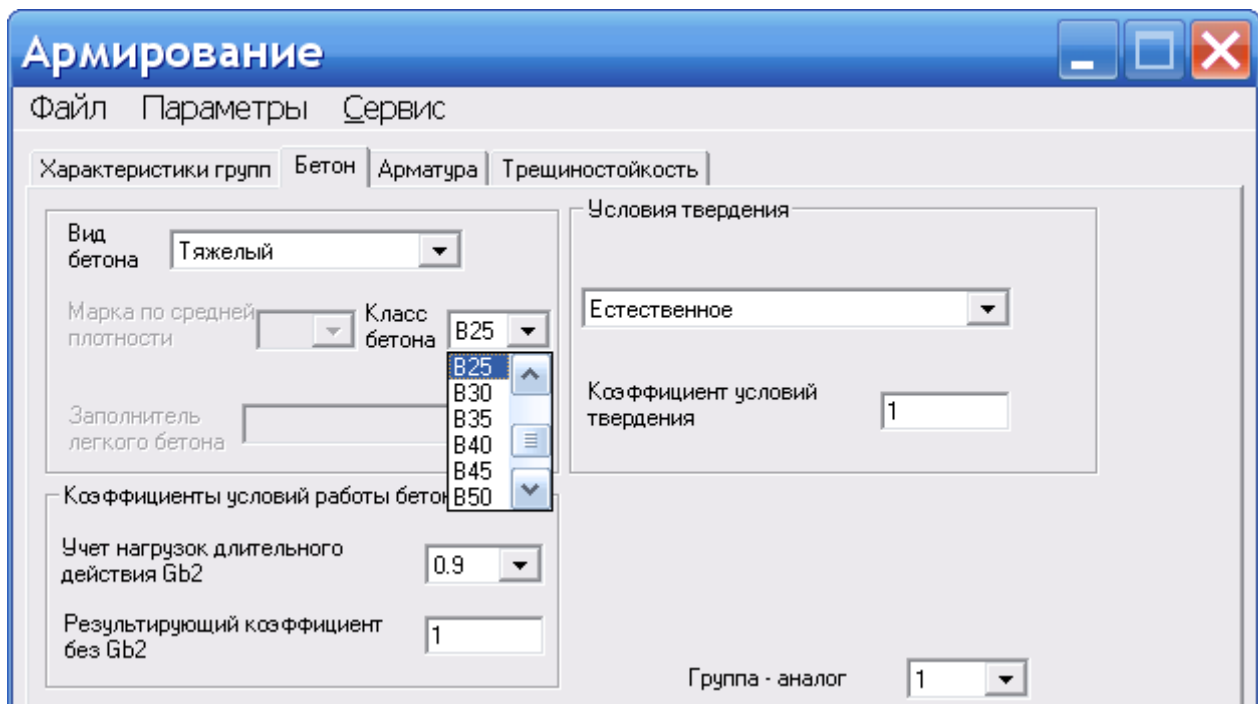


Рис. 5.28. Диалогове вікно **Армування**. Вкладка **Бетон**.

Після вибору вкладки **Арматура** діалогове вікно дещо зміниться. Тут необхідно буде вказати **Клас поздовжньої та поперечної арматури**, максимальний відсоток армування, коефіцієнти умов роботи тощо (рис. 5.29).

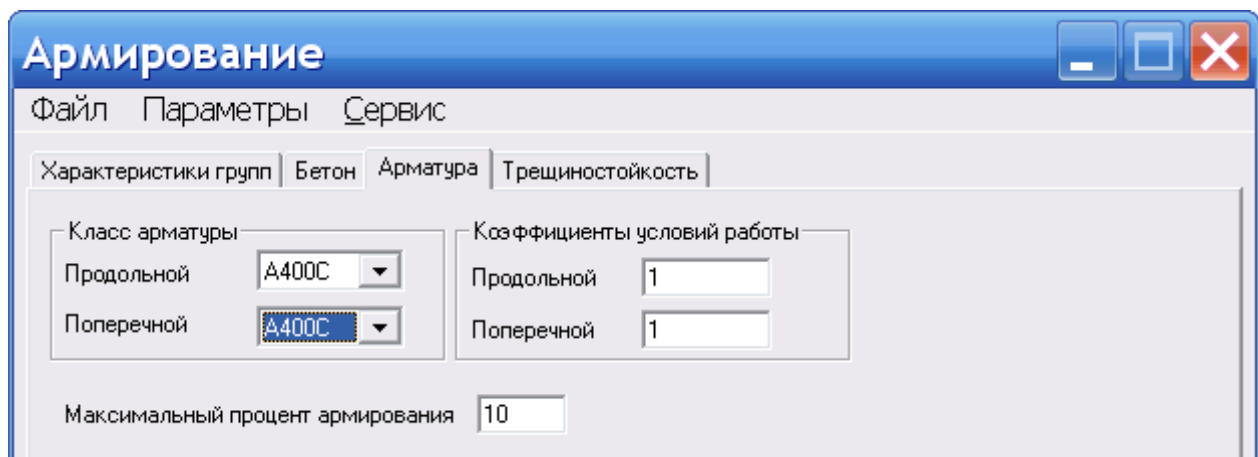


Рис. 5.29. Диалогове вікно **Армування**. Вкладка **Арматура**.

Після вибору вкладки **Тріщиностійкість**, діалогове вікно знову зміниться. Необхідно буде вказати **Діаметр поздовжньої та поперечної стрижневої арматури** (рис. 5.30). Курсором мишки вибираємо кнопку **Розрахунок**.

Система видасть інформаційне повідомлення **Розрахунок завершено** (рис. 5.31). Вибираємо курсором мишки кнопку **ОК** та кнопку **Вихід** діалогового вікна **Армування** (див. рис. 5.30).

5.7. Аналіз отриманих результатів

Повернемося до **Дерева проекту** (див. рис. 5.18), де у каталозі **Результати** виберемо команду **Графічний аналіз**, а потім вкладку **Постпроцесори**, яка у свою чергу відкриє набір власних команд.

Вибираємо курсором мишки команду **Аналіз результатів армування** (перша піктограма зліва) (рис. 5.32).

Ми можемо легко змінювати крок арматурних стрижнів (10, 15, 20, 30 см тощо), переглядати нижні та верхні стрижні як уздовж осі X, так і уздовж осі Y, відсоток армування, поперечні стрижні тощо. Розрахунок площ арматурних стрижнів здійснюється на один метр погонний та подається у вигляді такого запису: **10d8** (10 стрижнів діаметром 8). Результати розрахунку подаються у зручній табличній та графічній формах (рис. 5.34 - 5.37).

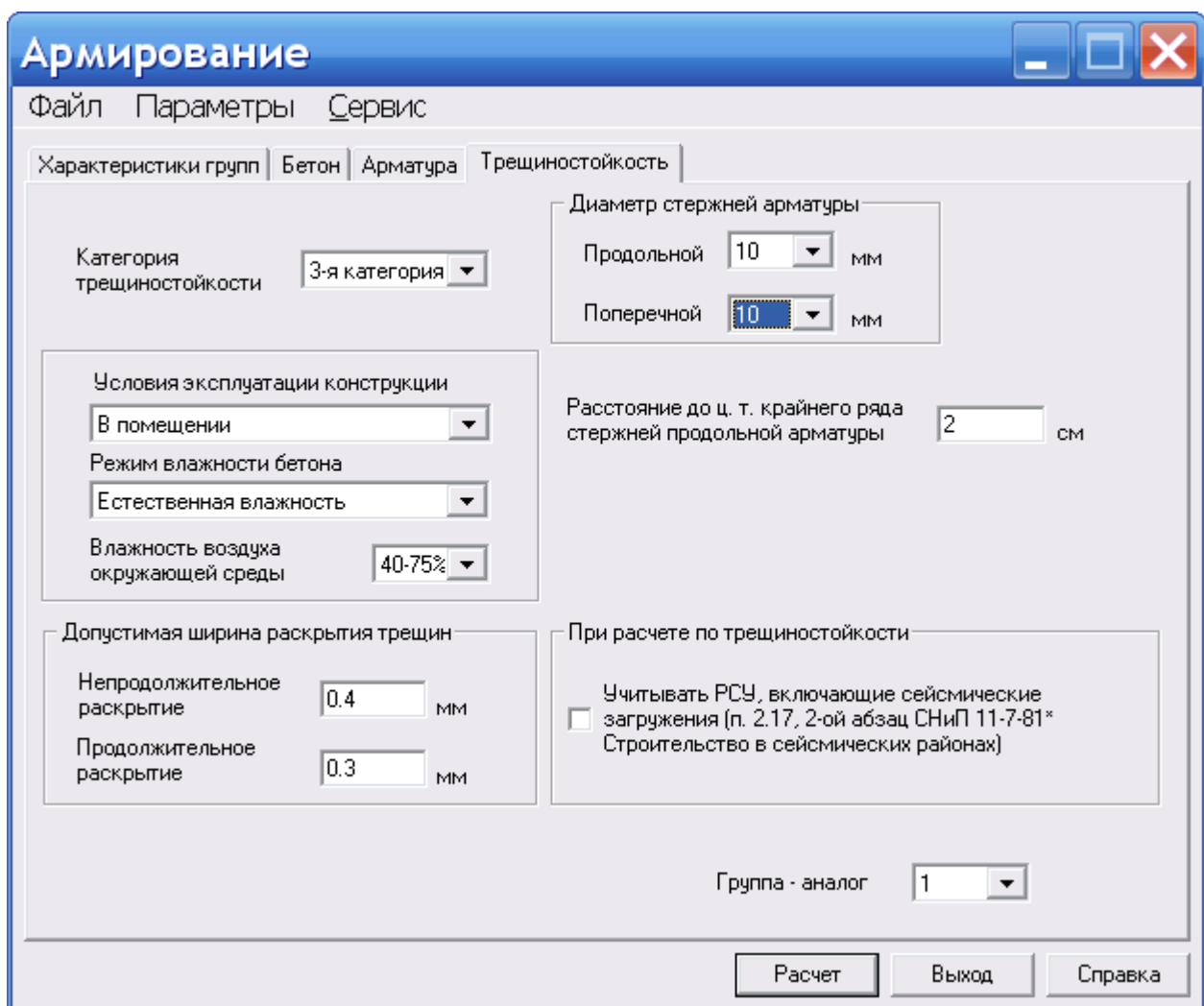


Рис. 5.30. Діалогове вікно **Армування**.
Вкладка **Тріщиностійкість**.

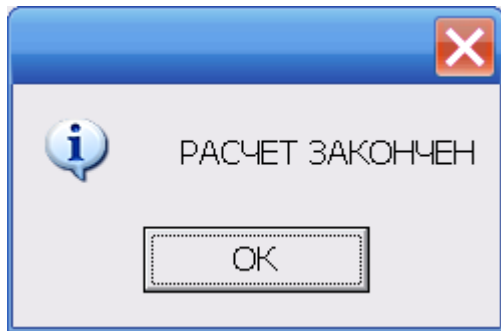


Рис. 5.31. Інформаційне вікно.

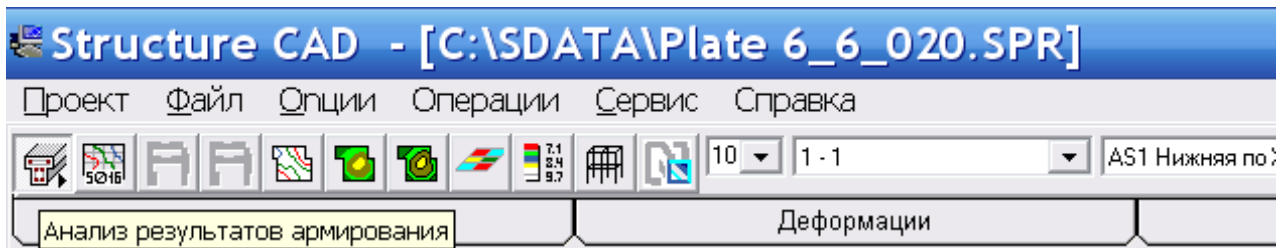


Рис. 5.32. Панель інструментів вкладки **Постпроцесори**.

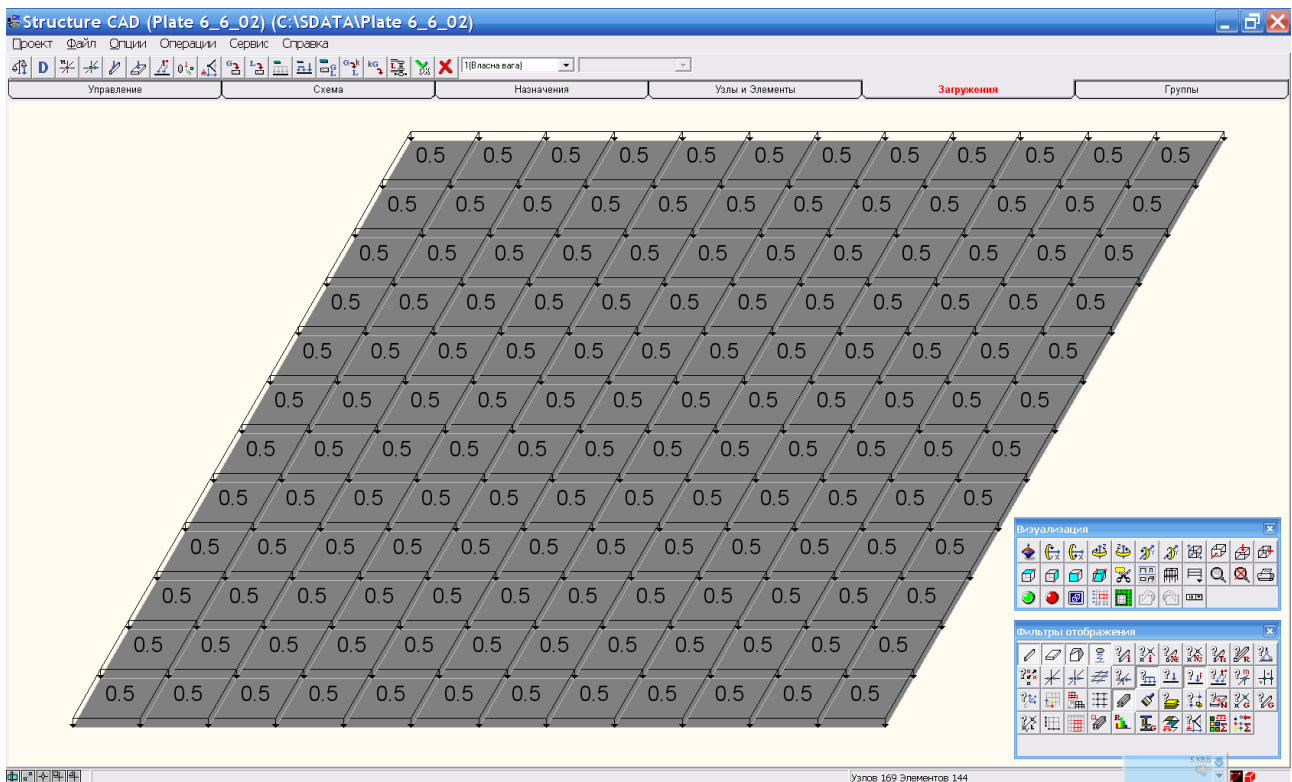


Рис. 5.33. Схема прикладення навантаження від власної ваги на залізобетонну плиту.

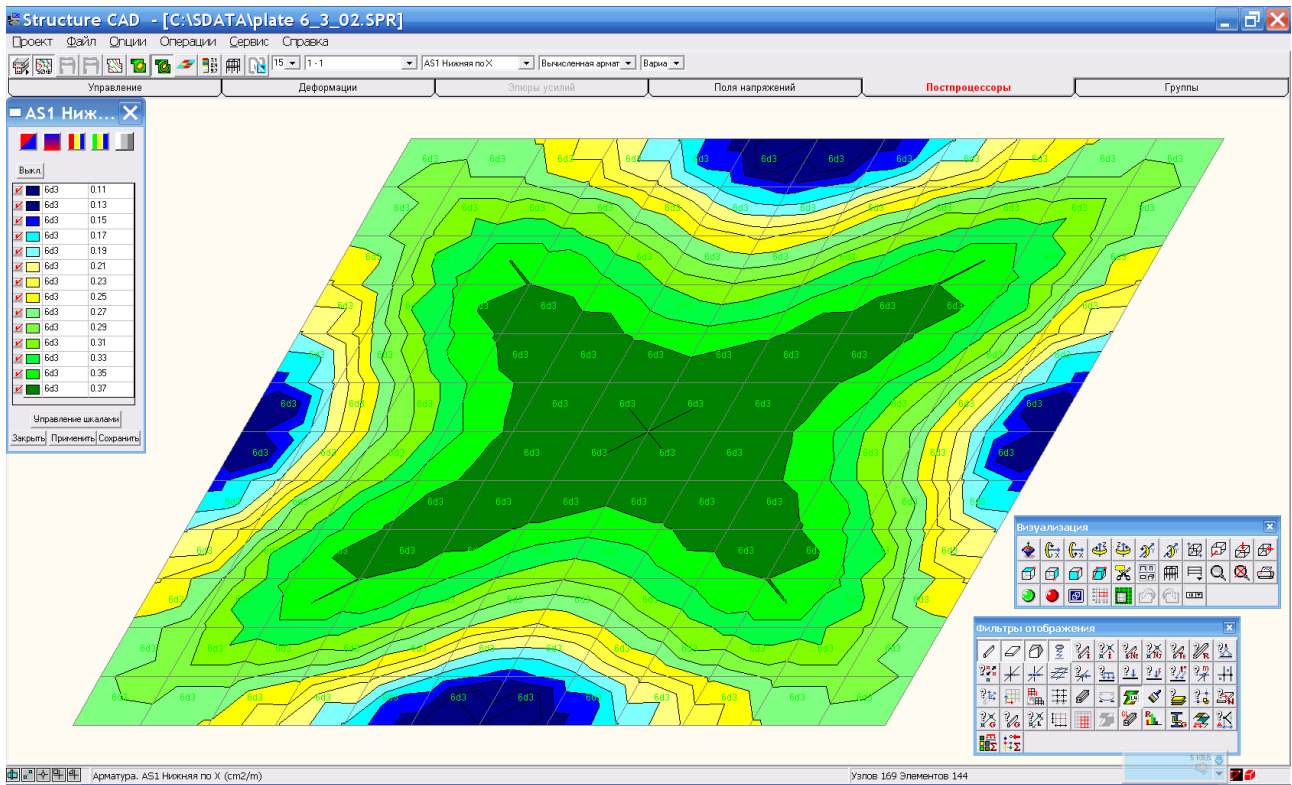
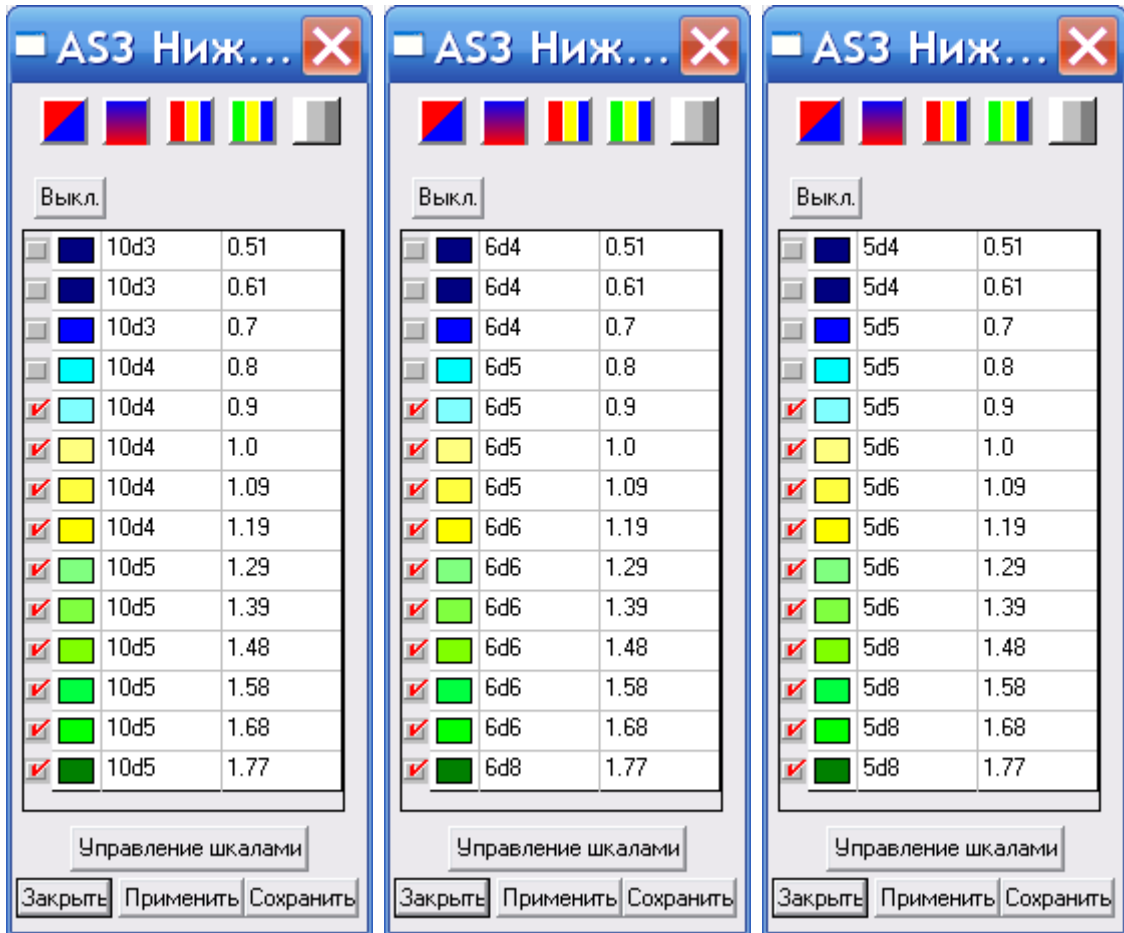


Рис. 5.34. Відображення ізополів та ізолій армування пластини (нижня арматура по осі X).



крок - 10 см

крок - 15 см

крок - 20 см

Рис. 5.35. Підібрані перерізи нижньої стрижневої арматури.

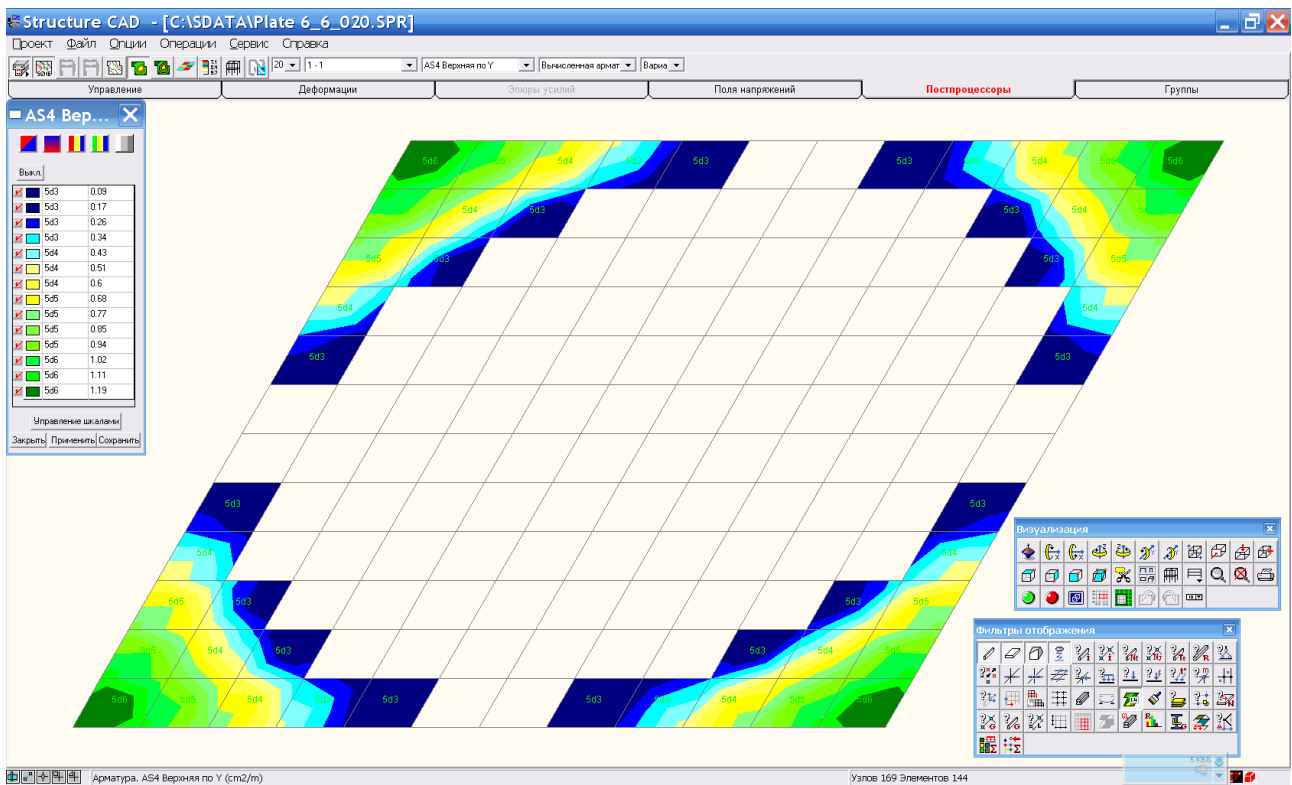
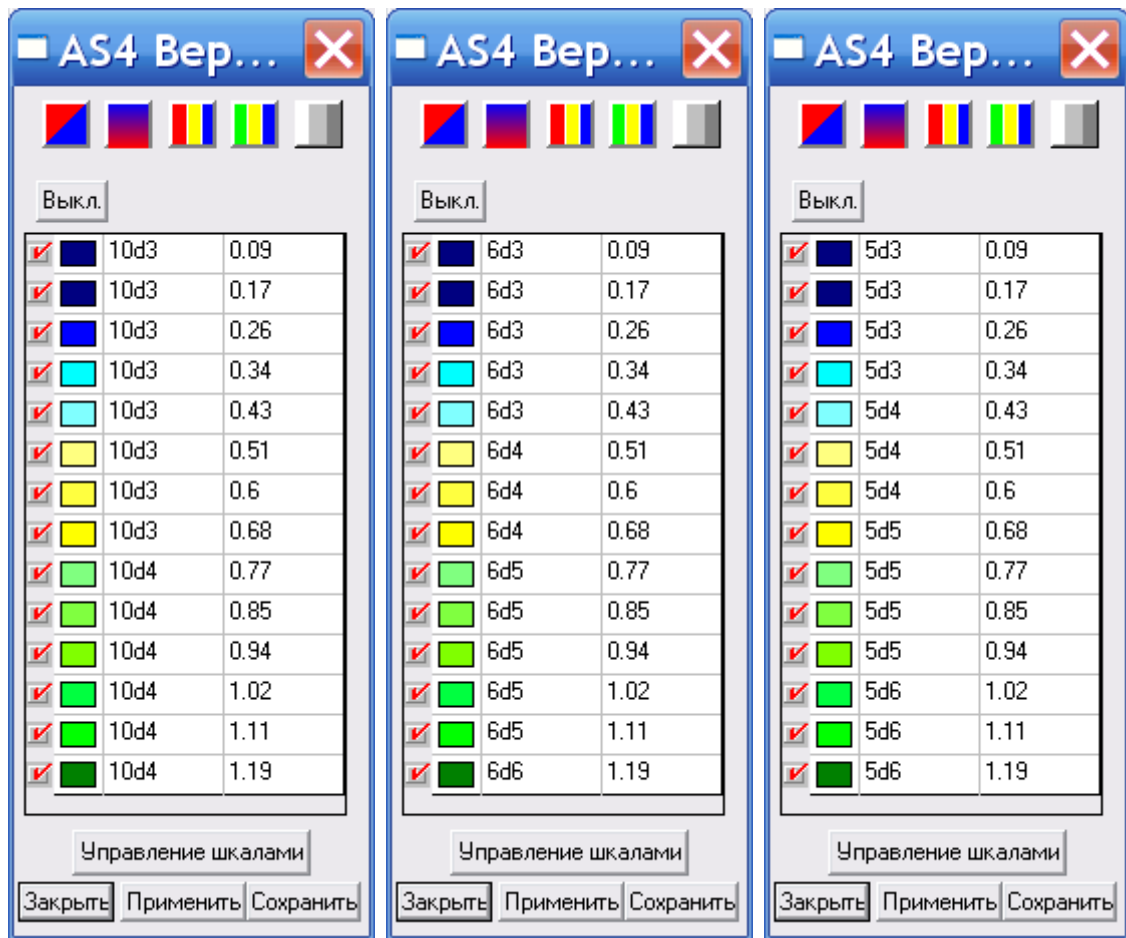


Рис. 5.36. Відображення ізополів та ізоліній армування пластини (верхня арматура по осі X).



крок - 10 см

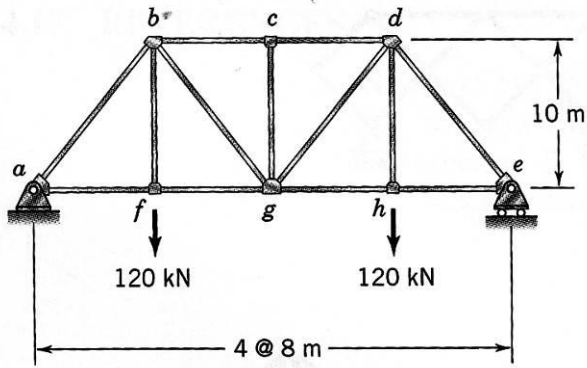
крок - 15 см

крок - 20 см

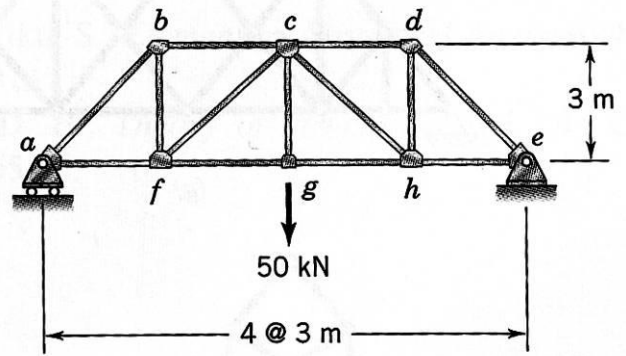
Рис. 5.37. Підібрані перерізи верхньої стрижневої арматури.



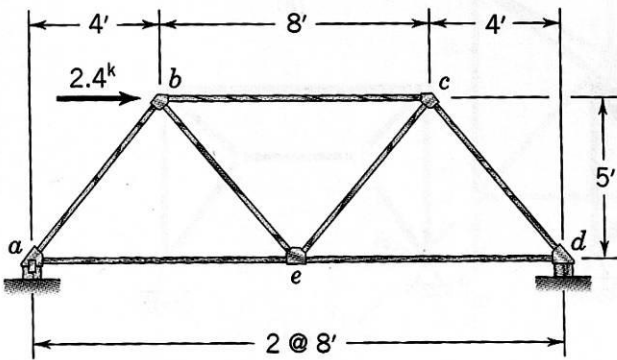
ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



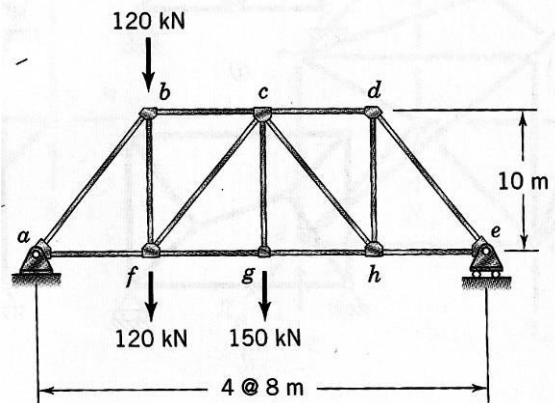
1



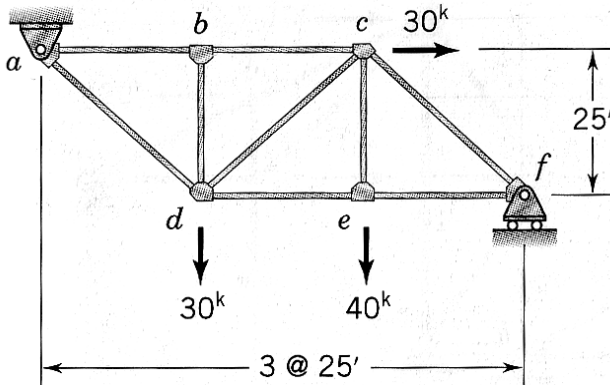
2



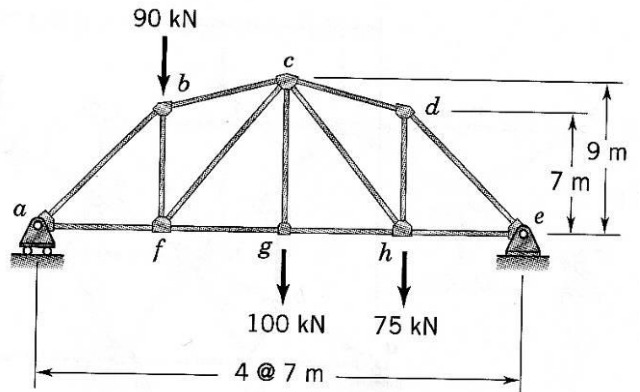
3



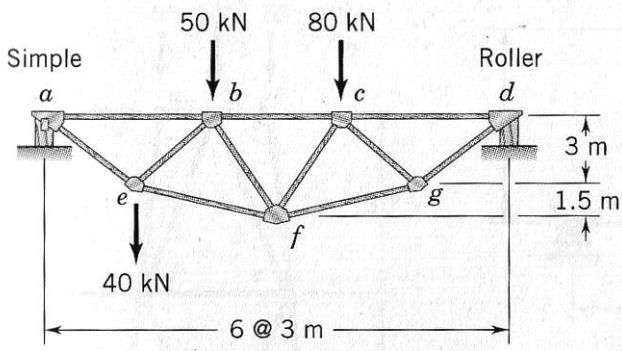
4



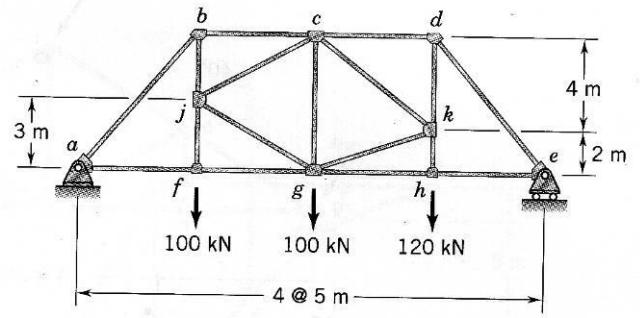
5



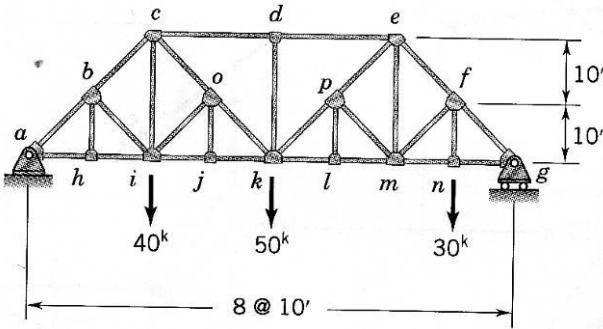
6



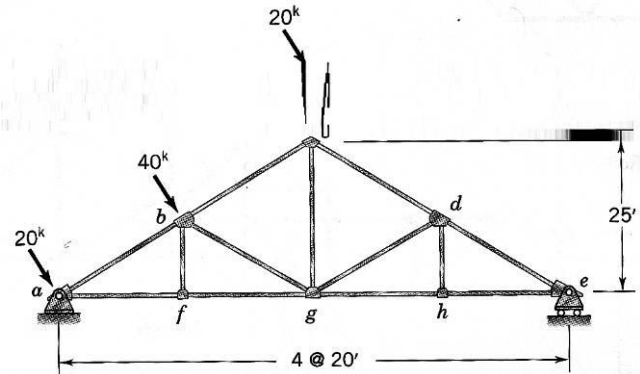
7



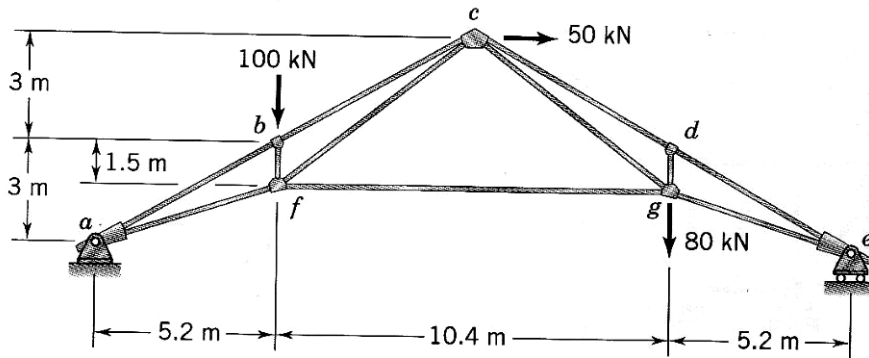
8



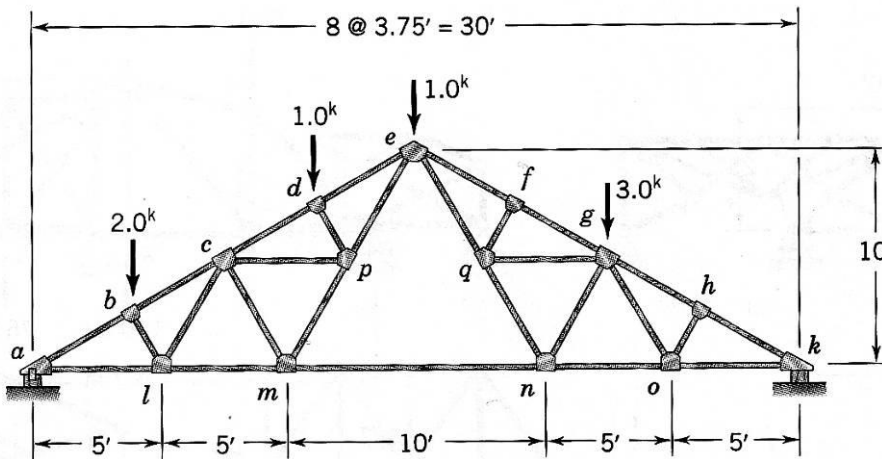
9



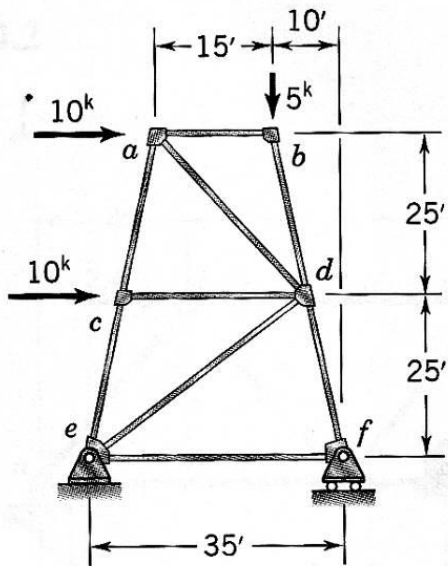
10



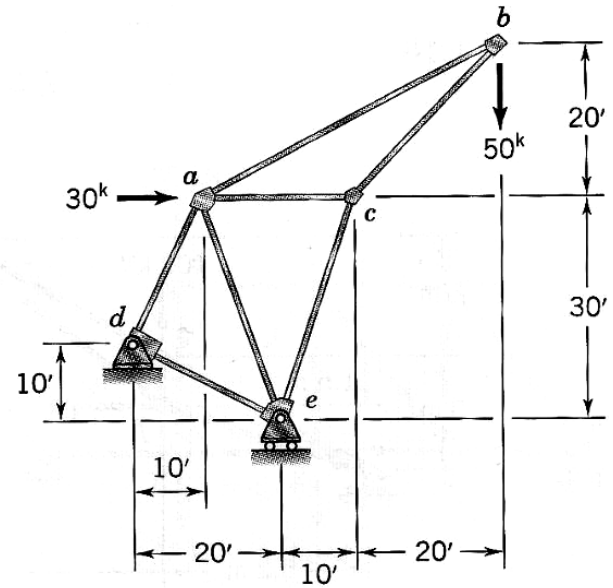
11



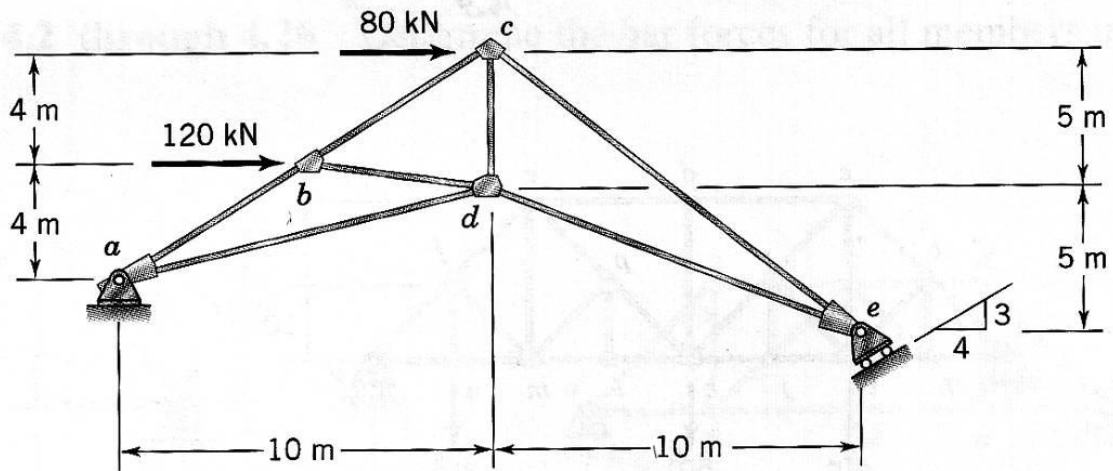
12



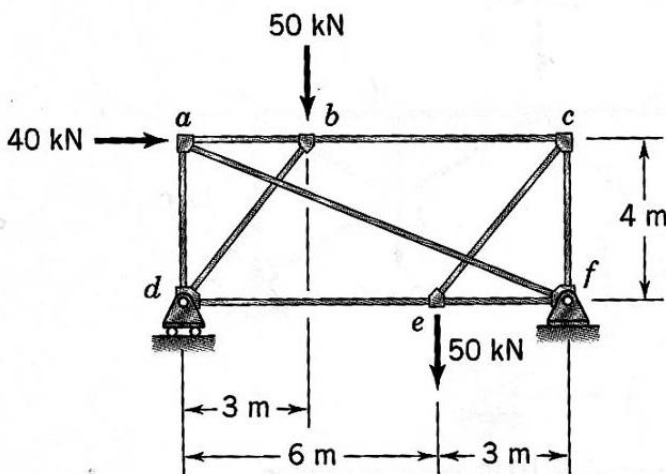
13



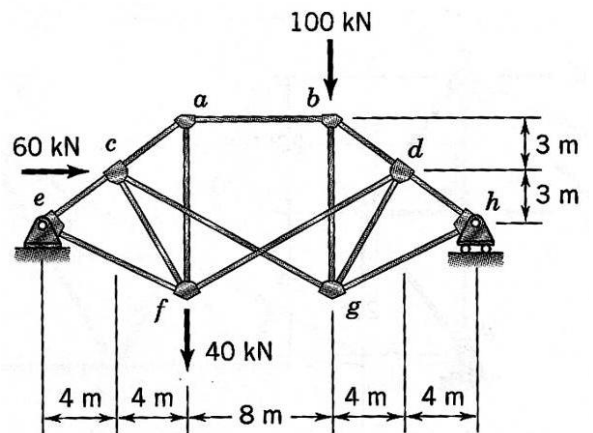
14



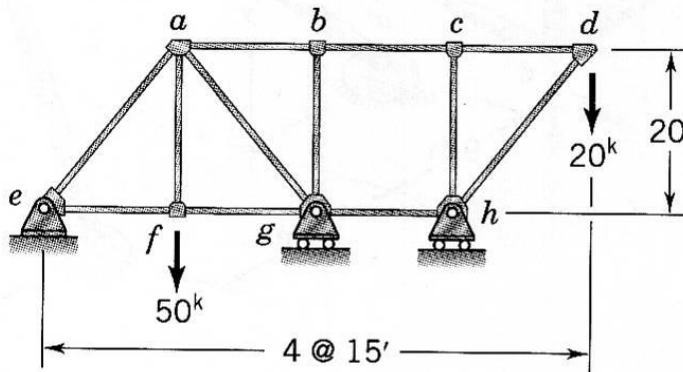
15



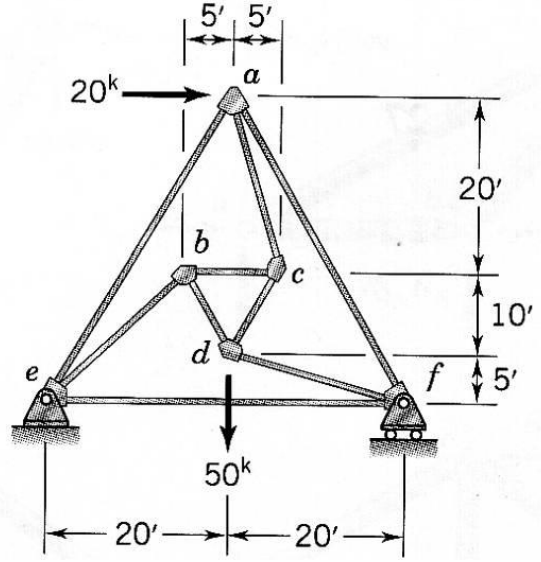
16



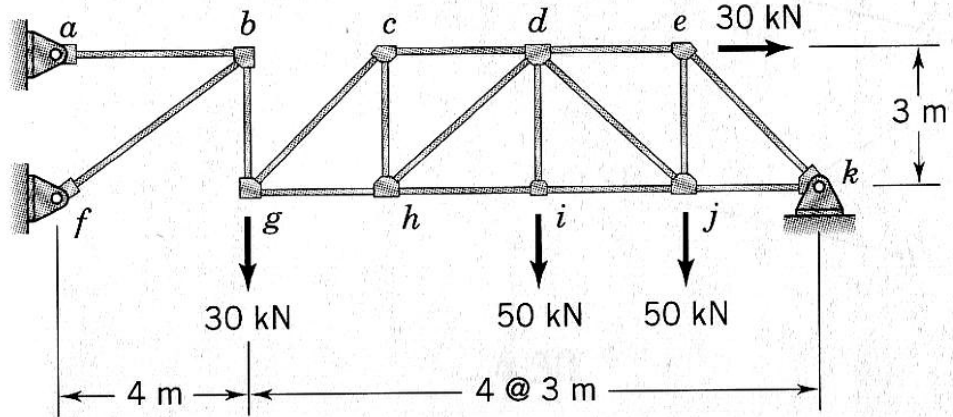
17



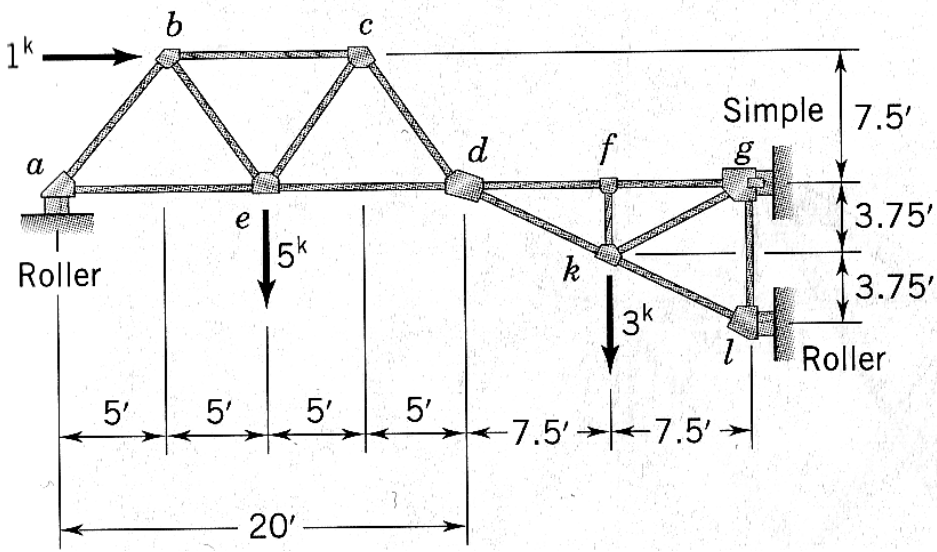
18



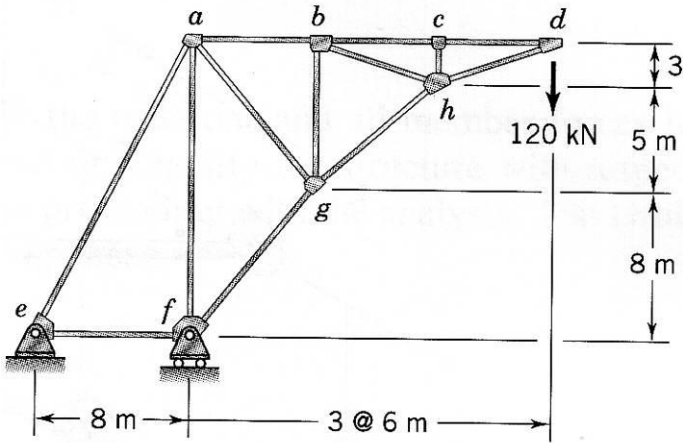
19



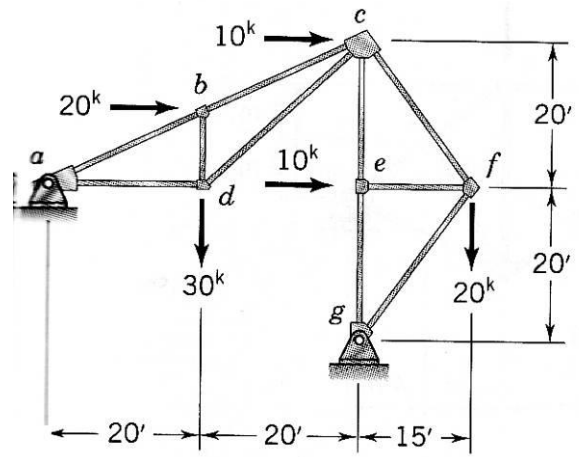
20



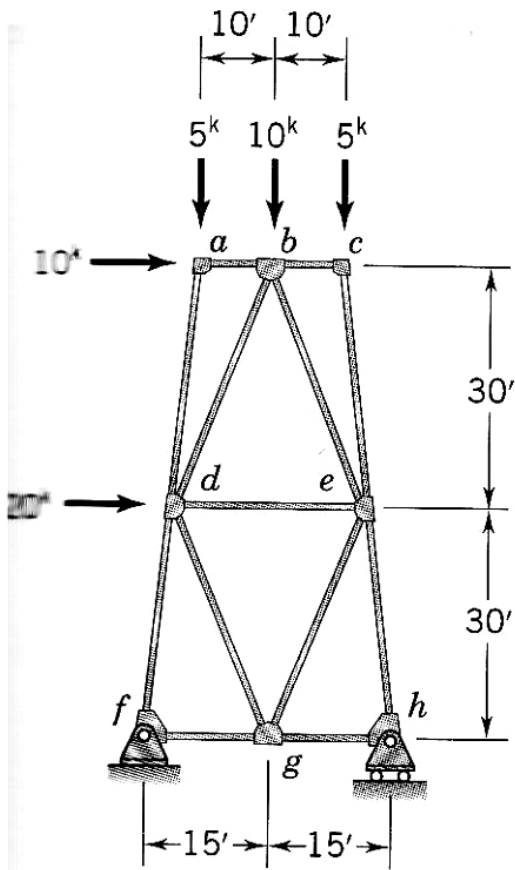
21



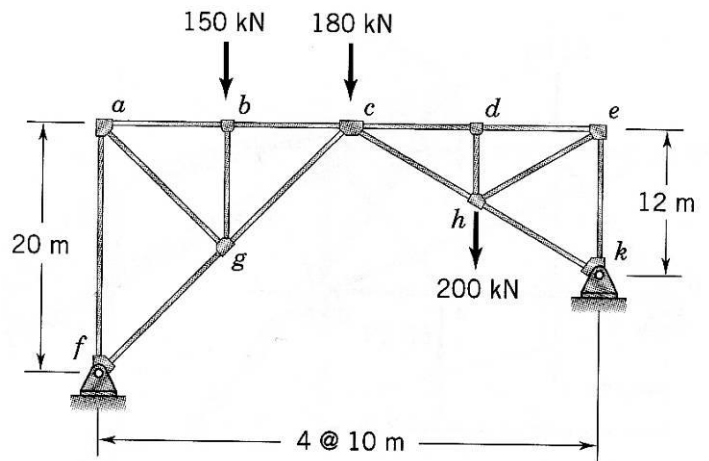
22



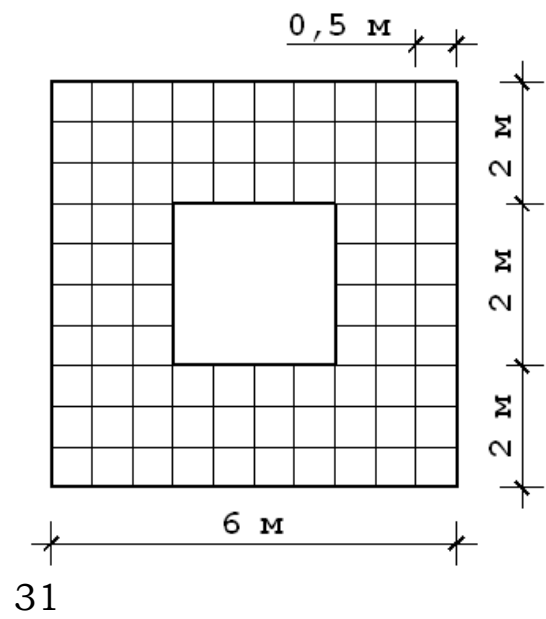
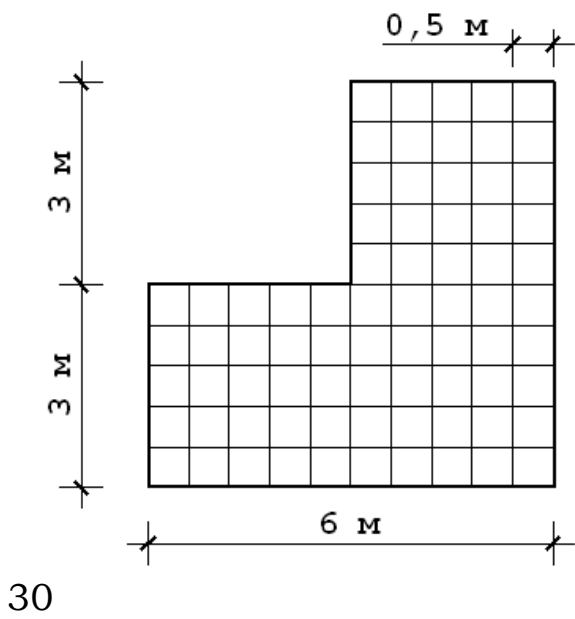
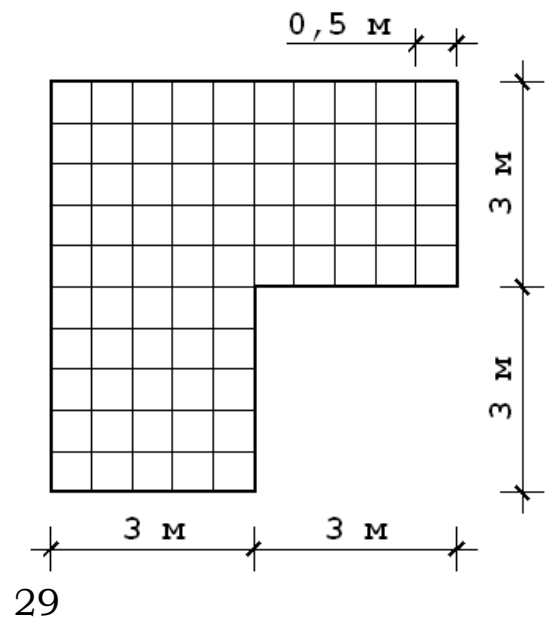
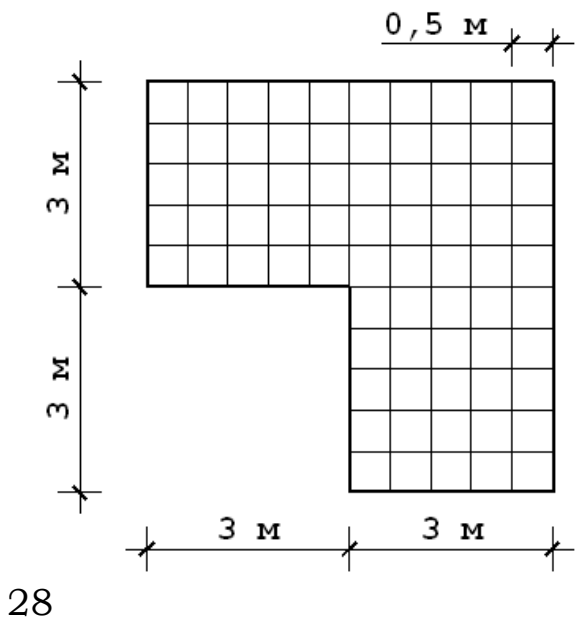
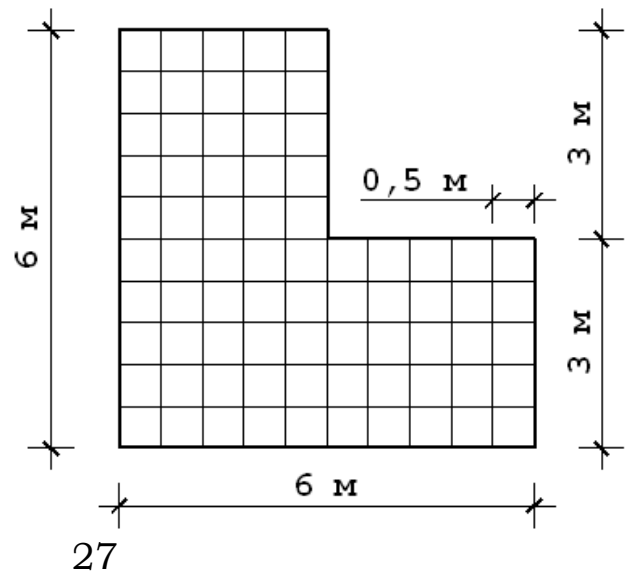
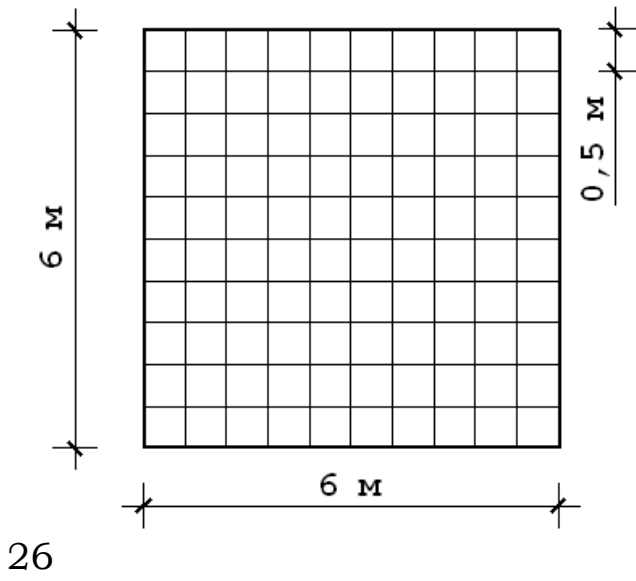
23



24



25





БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Амбарцумян С. А. Теория анизотропных пластин (прочность, устойчивость и колебания) / Москва : Наука, 1987. 360 с.
2. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Москва : Стройиздат, 1991. 767 с.
3. Бліхарський З. Я., Кархут І. І., Струк Р. Ф. Розрахунок і конструювання нормальних та похилих перерізів залізобетонних елементів : навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. 141 с.
4. Бучок Ю. Ф. Будівельні конструкції : основи розрахунку : підручник. Київ : Вища шк., 1994. 421 с.
5. Власов В. З., Леонтьев Н. Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. Москва : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. 492 с.
6. Вычислительный комплекс SCAD / Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А. Москва : Изд-во СКАД СОФТ, 2007. 609 с.
7. Доннелл Л. Г. Балки, пластины и оболочки. Москва : Гл. ред. физ.-мат. наук, 1982. 568 с.
8. Евзеров И. Д., Здоренко В. С. Сходимость плоских конечных элементов тонкой оболочки. *Строительная механика и расчет сооружений*. 1984. № 1. С. 35-40.
9. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14-2009. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 37 с.
10. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимации. Москва : Мир, 1986. 318 с.
11. Карпиловский В. С., Кудашов В. И., Цветков Д. Н. Библиотека изопараметрических конечных элементов вычислительного комплекса "Лира". *Известия ВУЗов. Строительство и архитектура*. 1987. № 7. С. 28-32.

12. Карпиловский В. С. Конструирование несовместимых конечных элементов. Деп. в УкрНИИНТИ, 1980, №2153.
13. Карпиловский В. С. Методы конструирования конечных элементов. Деп. в УкрНИИНТИ, 1980, N2153.
14. Карпиловский В. С. Треугольный шестиузловой конечный элемент плиты. *Известия ВУЗов. Строительство и архитектура*. 1989. № 6. С. 35-39.
15. Карпиловский В. С. Четырехугольные конечные элементы для решения плоской задачи теории упругости. *Системы автоматизированного проектирования объектов строительства*. Киев : Будівельник, 1991. С. 35-43.
16. Карпиловский В. С. Четырехугольный восьмиузловой конечный элемент плиты. *Строительная механика и расчет сооружений*. 1990. С. 13-17.
17. Киселев В. А. Строительная механика : общий курс. Москва : Стройиздат, 1986. 520 с.
18. Клемперт Ю. З., Париков В. И., Сливкер В. И. О процедуре вычисления матрицы жесткости призматического стержня. *Расчет пространственных конструкций*. Москва : Стройиздат, 1974. Вып. 16. С. 179-189.
19. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. Металеві конструкції : підручник. Львів : Світ, 2002. 312 с.
20. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування : ДБН В.2.6-98:2009. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 72 с.
21. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б. В 2.6-156:2010. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 115 с.
22. Крамарчук А. П., Ільницький Б. М., Бобало Т. В. Будівельні конструкції : навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2016. 200 с.
23. Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. Москва : Наука, 1977. 416 с.
24. Мандриков А. П. Примеры расчета металлических конструкций : учеб. пособие для техникумов. 2-е изд. Москва, 1991. 431 с.
25. Методические рекомендации по использованию библиотеки конечных элементов ВК "Лира". Киев : НИИАСС Госстроя УССР, 1988.

26. Методические рекомендации по использованию дополнительных возможностей библиотеки конечных элементов ВК "Ли́ра". Киев : НИИАСС Госстроя УССР, 1988.

27. Методические рекомендации по использованию тестовых примеров вычислительного комплекса "Ли́ра". Киев : НИИАСС Госстроя УССР, 1988. 168 с.

28. Методические рекомендации по чтению результатов работы вычислительного комплекса "Ли́ра". Киев. : НИИАСС Госстроя УССР, 1984. 140 с.

29. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення : ДСТУ 3651.0-97. Київ : Держстандарт України, 1998. 9 с.

30. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення : ДСТУ 3651.1-97. Київ : Держстандарт України, 1998. 76 с.

31. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, назви та значення : ДСТУ 3651.2-97. Київ : Держстандарт України, 1998. 13 с.

32. О расчете многослойных ортотропных оболочек вращения с конечной сдвиговой жесткостью / Карпиловский В. С., и др. *Прикладная механика*. 1988. Т. 24, № 11. С. 24-28.

33. Пакет прикладных программ для автоматизированного проектирования железобетонных конструкций подземных и наземных сооружений в промышленном и гражданском строительстве /ППП АПЖБК/ /Краткое содержание ; Фонд алгоритмов и программ для ЭВМ в области "Строительство". Москва, 1980. Вып. 6-50. 20 с.

34. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Особенности алгоритмизации метода перемещений при учете дополнительных связей. *Метод конечных элементов и строительная механика*. Труды ЛПИ. 1976. № 349. С. 28-36.

35. Программный комплекс "МИРАЖ" для расчета конструкций на ПК : инструкция пользователя. Киев : НИИАСС, 1995. 420 с.

36. Рассказов А. О., Карпиловский В. С., Харченко Н. Г. Конечный элемент многослойной полой ортотропной оболочки. Деп. в УкрНИИТИ, 1984, №223Ук-Д84.

37. Рассказов А. О., Соколовская И. И., Шульга Н. А. Теория и расчет слоистых ортотропных пластин и оболочек. Киев : Вища шк., 1986. 192 с.
38. Расчет неоднородных пологих оболочек и пластин методом конечных элементов / Вериженко В. Е., Карпиловский В. С., Пискунов В. Г. и др. Киев : Вища шк., 1987. 200 с.
39. Ржаницын А. Р. Строительная механика. Москва : Высш. шк., 1982. 400 с.
40. Розин Л. А. Стержневые системы как системы конечных элементов. Ленинград : ЛГУ, 1976. 232 с.
41. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. Київ : Мінбуд України, 2006. 75 с.
42. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування : ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Київ : Мінбуд України, 2006. 15 с.
43. Соляник-Красса К. В. Осесимметричная задача теории упругости. Москва : Стройиздат, 1987. 338 с.
44. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. ; отв. ред. Писаренко С. Г. 2-е изд., перераб. и дополн. Киев : Наук. думка, 1988. 736 с.
45. Сталеві конструкції. Норми проектування : ДБН В.2.6-198:2014. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 199 с.
46. Стасюк М. І. Залізобетонні конструкції. Ч.1: Основи розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами : навч. посіб. / Ін-т змісту і методів навчання, Держ. ун-т «Львів. політехніка». Київ, 1997. 270 с.
47. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. Москва : Мир, 1977. 350 с.
48. Шмиг Р. А., Добрянський І. М. Розрахунок будівельних конструкцій в обчислювальному комплексі SCAD : навч. посіб. Львів : Ліга Прес, 2015. 79 с.
49. Шмиг Р. А., Добрянський І. М., Грицина О. І. Розрахунок металевих балок : навч. посіб. Львів : Ліга Прес, 2016. 62 с.
50. Шмиг Р. А., Боярчук В. М., Добрянський І. М., Барабаш В. М. Інженерна комп'ютерна графіка : навч. посіб. Львів : Український бестселер, 2012. 600 с.

Навчальне видання

**Шмиг Роман Андрійович,
Добрянський Іван Михайлович,
Коваль Остап Ігорович**

**РОЗРАХУНОК
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСІ
SCAD**

Навчальний посібник

Видання друге, доповнене

*За загальною редакцією
кандидата технічних наук, доцента
Шмига Романа Андрійовича*

Редактори **Д.Б.Дончак, М.М.Забор**
Коректор **Н.В.Скосарьова**
Комп'ютерна верстка і набір **І.Б.Шмиг**

Підписано до друку 25.12.2017. Формат 60x84/16.
Папір офс. Гарнітура Bookman Old Style. Друк офс.
Обл.-вид. арк. 5,36. Ум. друк. арк. 6,31. Наклад 100. Зам. №48.

Віддруковано ПП "Арал"
м.Львів, вул.О.Степанівни, 49
Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта підприємницької діяльності
№13135 від 09.02.1998 р.