

**А. Ю. Бажанова
Д. В. Лазарєва
М. Г. Сур'янінов**

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ПРОЕКТУВАННІ**

ОДЕСА
2018

УДК 539.3:681.3

Автори: **А.Ю. Бажанова**, кандидат технічних наук, доцент кафедри динаміки, міцності машин та опору матеріалів Одеського національного політехнічного університету

Д.В. Лазарєва, завідувач кафедри інформаційних технологій та прикладної математики Одеської державної академії будівництва та архітектури, кандидат технічних наук, доцент

М.Г. Сур'янінов, завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, доктор технічних наук, професор

Рецензенти: **А.В. Гришин**, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки Одеського національного морського університету, доктор технічних наук, професор

Ю.І. Журавльов, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології матеріалів та судноремонту національного університету "Одеська морська академія"

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеської державної академії будівництва та архітектури
(протокол № 8 від 26 квітня 2018 р.)*

Інформаційні технології в проектуванні

[Навчальний посібник] / А.Ю. Бажанова, Д.В. Лазарєва, М.Г. Сур'янінов. – Одеса: ОДАБА, 2018. – 290 с.

Навчальний посібник підготовлений відповідно до програм курсів "Пакети прикладних програм" та "Програмування для CAD/CAE систем", що викладається бакалаврам спеціальності 126 "Інформаційні системи та технології".

Посібник присвячений моделюванню та розрахунку конструкцій у двох популярних інженерних програмах скінченно-елементного аналізу — ANSYS і SolidWorks.

Матеріал викладений доступною мовою для студентів, а сам посібник може бути корисним і для викладачів та всіх, хто цікавиться інформаційними технологіями та застосуванням сучасних скінченно-елементних програм при проектуванні.

УДК 539.3:681.3

© Бажанова А.Ю., Лазарєва Д.В., Сур'янінов М.Г.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМІ ANSYS	7
1.1. Основи роботи в програмі ANSYS	7
1.1.1. Основні елементи керування	7
1.1.2. Графічний інтерфейс	8
1.1.3. Робота з файлами моделі	11
1.1.4. Вибір системи координат	12
1.1.5. Робоча площина	16
1.2. Твердотільне моделювання	21
1.2.1. Побудова ключових точок	22
1.2.2. Побудова ліній	29
1.2.3. Побудова поверхонь	39
1.2.4. Побудова плоских примітивів	42
1.2.5. Побудова об'ємів	50
1.2.6. Побудова об'ємних примітивів	51
1.3. Операції з об'єктами	62
1.3.1. Моделювання з використанням операції екструзії	62
1.3.2. Моделювання за допомогою булевих операцій	68
1.3.3. Операції переміщення	78
1.3.4. Копіювання об'єктів	81
1.3.5. Створення або перенос нових об'єктів шляхом симетричного відображення	83
1.3.6. Видалення об'єктів	83
1.4. Побудова скінченно-елементної моделі	84
1.4.1. Встановлення типу елемента та його характеристик	84
1.4.2. Способи побудови скінченно-елементної сітки	89
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКИ В ПРОГРАМІ ANSYS	109
2.1. Аналіз тонкостінного стержня на згин з крутінням	109
2.2. Розрахунок просторової ферми	115

2.3. Аналіз напружено-деформованого стану деталі «Кришка»	119
2.4. Плоско-просторові системи	126
2.5. Кругові та параболічні арки	135
2.6. Згин прямокутних пластин	144
РОЗДІЛ 3. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОГРАМУ	
SOLIDWORKS	150
3.1. Побудова деталі з використанням базових операцій	155
3.2. Побудова тіла обертання	163
3.3. Побудова пружини у SolidWorks	168
3.4. Створення деталі за перерізами	172
3.5. Створення деталі з листового металу	178
3.6. Створення конфігурацій деталі вручну	182
3.7. Створення конфігурацій з використанням таблиць параметрів	185
3.8. Моделювання і створення креслення шибера	190
3.9. Створення збірки	196
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ	
SOLIDWORKS SIMULATION	202
4.1. Розрахунок статично невизначеної балки прямокутного перерізу	202
4.2. Розрахунок двотаврової статично невизначеної балки	221
4.3. Розрахунок плоско-просторової системи	231
4.4. Розрахунок кругового стрижня	242
4.5. Плоске завдання теорії пружності	252
4.6. Розрахунок оболонкової конструкції типу бак	267
4.7. Розрахунок стрижневої ферми консольного типу в SolidWorks Simulation	276
ЛІТЕРАТУРА	289

ВСТУП

Нові інформаційні технології стрімко проникли в усі сфери нашого життя. В області проектування першим нові можливості "відчуло" на собі машинобудування, а потім — будівельна галузь.

З'явилися САД-системи (від англійського Computer Aided Design — проектування за допомогою комп'ютера), або, як кажуть у нашій країні, САПР, — системи автоматизованого проектування. Застосування САД-систем дозволило не тільки скоротити строки моделювання об'єктів, але й створювати найскладніші моделі з великою кількістю елементів.

Необхідність у розрахунках побудованих комп'ютерних моделей послужила поштовхом до розробки спеціалізованих програмних комплексів, призначених головним чином для інженерних розрахунків. Такі програми одержали назву САЕ-системи (Computer Aided Engineering), і ґрунтуються вони переважно на методі скінченних елементів (МСЕ).

Усі програми різних фірм можна розділити на дві основні групи.

Перша група — програми скінченно-елементного аналізу (CosmosWorks, Designspace, MSC/Incheck) — відомі пакети, що вбудовуються на рівні меню в САПР і привабливі необхідним інструментарієм для швидкого розрахунку (експрес-аналіз) елементів або складальних одиниць безпосередньо в середовищі їх розробки. Для зручності користувачів при цьому реалізуються алгоритми автоматизованого розбивки конструкції на скінченні елементи, інтуїтивно зрозумілі схеми призначення граничних умов і додатка навантажень.

Незважаючи на зазначені гідності, програми даної групи мають обмежений набір можливостей для створення й розрахунків моделей з ускладненими властивостями по функціональних схемах, граничних умовах, навантаженнях, геометричних особливостях і ін.

Побудовані в цих середовищах розрахункові моделі не завжди вирішують поставлені завдання, що змушує звертатися до більш повних програм скінченно-елементного аналізу.

Друга група — це програми, орієнтовані в першу чергу на підготовку повноцінної скінченно-елементної моделі з максимальними можливостями моделювання, урахування особливостей геометричного, силового характеру й виконання різних видів розрахунків. У них присутні необхідні інструменти для геометричного моделювання конструкцій і розвинені засоби експорту/імпорту геометричних моделей з інших САД-програм.

Усі програмні засоби автоматизації підрозділяються на легкі, середні й важкі. Ступінь «ваги» є показником потужності й ефективності. У цьому навчальному посібнику розглядаються принципи моделювання й розрахунків у двох популярних пакетах: в ANSYS — одному з нечисленних важких пакетів і Solidworks, який частіше відносять до пакетів середньої ваги.

ANSYS — це програмний пакет скінченно-елементного аналізу, що вирішує завдання в різних областях інженерної діяльності (міцність конструкцій, термодинаміка, механіка рідин і газів, електромагнетизм), включаючи зв'язані багато дисциплінарні завдання (термотривкість, магнітопружність і т.п).

SolidWorks — система, що дозволяє здійснювати автоматизоване проектування, підготовку виробництва різних виробів і детальний інженерний аналіз. Прикладні модулі працюють на рівні єдиної інформаційної моделі, що дозволяє вирішувати ряд найважливіших завдань: моделювання; проведення інженерних розрахунків; аналіз технологічності виробу; автоматизація документообігу.

При підготовці посібника автори зробили акцент на розгляді максимально можливої кількості прикладів моделювання й розрахунків конструкцій.

РОЗДІЛ 1

МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМІ ANSYS

1.1. Основи роботи в програмі ANSYS

1.1.1. Основні елементи керування

В програмі ANSYS існують два основні способи взаємодії користувача й програми:

- у режимі графічного інтерфейсу користувача;
- у командному режимі.

Графічний інтерфейс користувача містить у собі (рис. 1.1):

- головне меню (Main Menu);
- меню утиліт (Utility Menu);
- вікно введення команд (ANSYS input);
- лінійку інструментів (ANSYS toolbar);
- графічне вікно;
- вікно виводу.

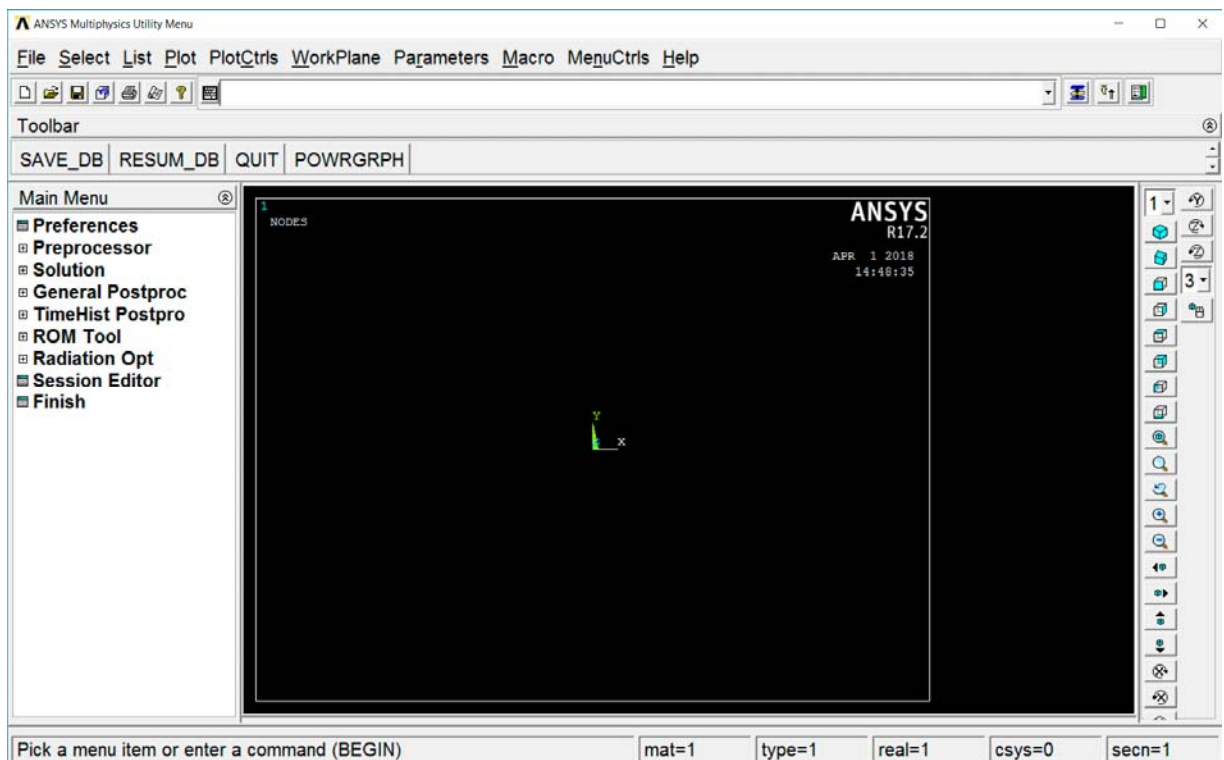


Рис. 1.1

Практично всі дії, які здійснюються та перераховані в меню, мають аналог у вигляді відповідних команд.

Зазначені способи роботи в ANSYS не є взаємовиключними, а навпаки, успішно доповнюють один одного.

1.1.2. Графічний інтерфейс

Незважаючи на те, що програма ANSYS є досить наукомістким багатоцільовим пакетом, її організаційна структура й графічний інтерфейс роблять вивчення й застосування програми дуже зручним.

За допомогою цього інтерфейсу забезпечується інтерактивний доступ до функцій, команд, документації й довідкових матеріалів програми. Створюється свого роду путівник, що навчає користувача крок за кроком при проведенні аналізу. Надається повна документація в інтерактивному режимі й найсучасніша система **HELP** на основі гіпертекстового представлення.

Працюючи із графічним інтерфейсом, користувач вибирає команди з меню, а параметри вводить за допомогою діалогових вікон.

Існують команди, які не мають аналогів у меню, тоді вони вводяться через командне вікно.

Почнемо розгляд графічного інтерфейсу програми з **Головного меню (Main Menu)**, яке надає доступ до всіх основних операцій, пов'язаних з розв'язанням задач, — починаючи від створення моделі й закінчуючи читанням отриманих результатів розрахунків (рис. 1.2).

Структуру головного меню можна порівняти з генеалогічним деревом, кожний елемент якого містить ряд розгалужень, кожне з яких, у свою чергу, містить ще ряд розгалужень і т.д.

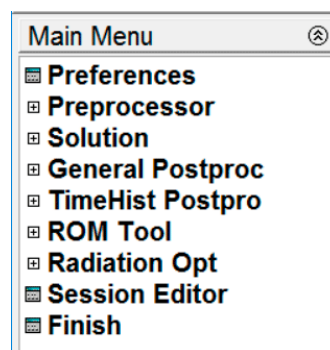


Рис. 1.2

Наступним компонентом графічного інтерфейсу є **Меню утиліт (Utility Menu)**, яке дозволяє управляти файлами програми, вибирати й нумерувати об'єкти, змінювати їхнє положення й розміри на робочій площині, а також виконувати ще цілий ряд допоміжних операцій (рис. 1.3).

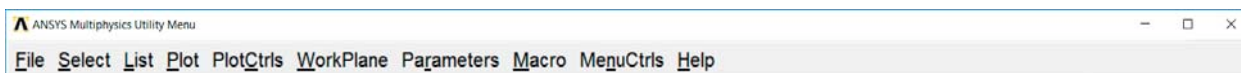


Рис. 1.3

Як згадувалося вище, практично всі дії, здійснювані через *Main Menu* і *Utility Menu*, мають аналог у вигляді команди, яка задається через **Вікно введення команд (ANSYS input)**, яке являє собою область для набору команд і оснащене спливаючими підказками (рис. 1.4).



Рис. 1.4

Наступним атрибутом графічного інтерфейсу є **Лінійка інструментів (ANSYS toolbar)** — містить кнопки, що забезпечують швидкий доступ до часто використовуваних операцій (рис. 1.5).

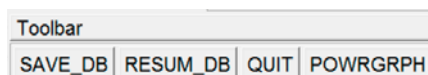


Рис. 1.5

Користувач може сам створювати й видаляти кнопки. Лінійка інструментів може вмістити до 200 кнопок.










Графічне вікно являє собою область для виводу інформації графічно, тобто для відображення моделі, граничних умов, навантажень і т.д.





Повністю інтерактивна графіка є складовою частиною програми ANSYS. Графіка важлива для перевірки вихідних даних і перегляду результатів розв'язку на етапі постпроцесорної обробки.












Модуль Power Graphics має значну швидкість побудови геометричних об'єктів і графічних результатів. Засоби візуалізації цього модуля придатні для зображення елементів сітки, полів напружень і т.п.


Ліворуч від графічного вікна розташована навігаційна панель.

Опис можливостей цієї панелі почнемо з меню , призначення якого полягає в наступному. При натисканні правої кнопки миші в графічному вікні та при виборі **Graphic Properties>Window Layout...** у вікні, що відкрилося, можна вибрати відображення робочого плану зображення у вигляді одного, двох, трьох або чотирьох одночасно відкритих вікон. За допомогою меню  можна зробити активними всі ці вікна одночасно (опція *All*) або яке-небудь одне з них на вибір користувача.

Кнопка  дозволяє переглянути модель в ізометричній проекції, а кнопка  — у косокутній. Кнопки , , , , ,  дають можливість перегляду тієї або іншої проекції моделі (вид зверху, вид збоку і т.д.). Кнопка  дозволяє побачити відразу всю модель.

За допомогою кнопки  можна вказати на екрані прямокутну область, яку потрібно збільшити, а за допомогою  це збільшення можна скасувати. Кнопки ,  дають можливість міняти масштаб зображення, відповідно збільшуючи або зменшуючи його.

Група кнопок , , ,  призначена для переміщення моделі в горизонтальному й вертикальному напрямках, а кнопки , , , , ,  служать для повороту моделі відносно осей x , y , z , причому, величину кута повороту (як позитивну, так і негативну) можна вказати за допомогою меню .

При включенні кнопки  з'являється можливість маніпулювати моделлю за допомогою «миші». Для переміщення моделі слід натиснути ліву кнопку «миші» і, утримуючи її, переміщати модель у потрібному напрямку; для повороту натискають праву кнопку «миші». При натисканні колеса прокручування поворот моделі здійснюється в площині екрана комп'ютера.

1.1.3. Робота з файлами моделі

Створення файлу. Починаючи роботу з новою моделлю, файлу бази даних і всім супутнім файлам привласнюється нове ім'я. Якщо цього не зробити, то файли будуть за замовчуванням мати ім'я *file* з відповідним розширенням.

Дана операція виконується за допомогою пункту меню:

Utility Menu > File > Change Jobname

При виборі даного пункту меню в діалогові вікні, що з'явилося, у поле *[/FILNAM] Enter new jobname* слід ввести ім'я моделі.

Пункт *New log and error files* дозволяє використовувати старі *log* файли й файли помилок, якщо він установлений в *No*, або створити нові, якщо він установлений в *Yes*.

Якщо цьому передувала робота з яким-небудь файлом, то для очищення пам'яті від старої моделі використовується наступний пункт меню:

Utility Menu > File > Clear & Start New

Відкриття існуючого файлу. Щоб відкрити файл, використовуються наступні пункти меню:

Utility Menu > File > Resume Jobname.db

Цей пункт дозволяє читати з диска файл з іменем, яке привласнено поточної моделі з каталогу, використовуваного програмою „за замовчуванням”.

Utility Menu > File > Resume from

Використовуючи цей пункт можна зчитувати файл з будь-якого каталогу з іменем, відмінним від імені поточної моделі.

Збереження файлу моделі. При використанні цього пункту модель зберігається у файлі з іменем, яке було привласнено файлу раніше.

Utility Menu > File > Save as Jobname.db

Для збереження файлу з будь-яким іменем у будь-якому каталозі використовується пункт меню:

Utility Menu > File > Save as

У діалогові вікні *Save Data Base*, у полі *Save Data Base to* необхідно ввести ім'я файлу, у списку *Directories* вибрати директорію, у якій буде збережений файл. Список *Drives* необхідний для вибору диска.

Вихід з ANSYS. Здійснити вихід з програми можна декількома способами.

За допомогою меню утиліт:

Utility Menu > File > Exit

Також вихід з програми здійснюється при закритті вікна, яке містить меню утиліт, або натисканням кнопки *Quit* на лінійці інструментів. У всіх випадках з'являється діалогове вікно *Exit from ANSYS*, де можна вибрати один з наступних пунктів:

- *Save Geo + Loads* — вихід з програми зі збереженням геометрії моделі й прикладеними до неї навантаженнями в поточному файлі;
- *Save Geo + Ld + Solu* — збереження геометрії моделі, навантаження й розв'язку;
- *Save Everything* — збереження всієї інформації;
- *Quit - No Save* — вихід з програми без збереження.

1.1.4. Вибір системи координат

У програмі ANSYS існують наступні типи координатних систем:

- **глобальні й локальні системи координат** необхідні для визначення місцезнаходження геометричних об'єктів (вузлів, ключових точок і т.д.) у просторі;
- **система координат відображення інформації** визначає систему, у якій геометричні об'єкти відображаються в табличному або графічному виді;
- **вузлова система координат** визначає напрямки ступенів волі для кожного вузла й орієнтацію складових вектору результатів у вузлах;

- **система координат елемента** визначає орієнтацію характеристик матеріалу, що залежать від напрямку, і компонентів вектору результатів для елемента;
- **система координат результатів** використовується для перетворення результатів у вузлах або елементах в окрему систему координат для роздрукування лістингу, графічного виводу на екран або основних операцій у постпроцесорі загального призначення (POST1).

Розглянемо більш докладно кожну з координатних систем.

Глобальна система координат — це загальна або абсолютна система.

У програмі ANSYS передбачене використання трьох визначених глобальних систем: декартової, циліндричної й сферичної. Усі три системи правобічні, мають той самий початок і ідентифікуються в такий спосіб: 0 — декартова, 1 — циліндрична й 2 — сферична (рис. 1.6).

Локальна система координат. У багатьох випадках у користувача виникає необхідність установити власну систему координат, початок якої не збігається з початком глобальної системи координат або орієнтація якої відрізняється від орієнтації визначеної глобальної системи.

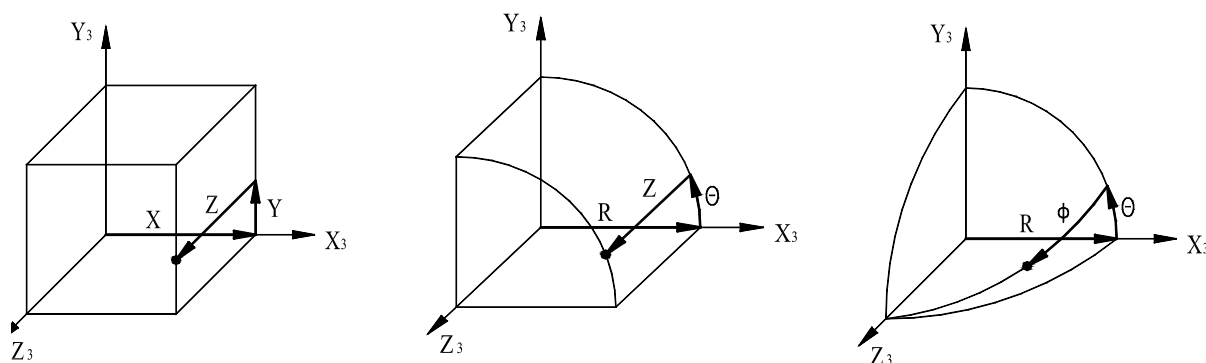


Рис. 1.6

Локальна система координат може бути декартовою, циліндричною або сферичною. Слід зазначити, що локальну, циліндричну або сферичну систему координат можна задати в круговій або еліптичній конфігурації. Крім того, може бути задана тороїдальна локальна система координат.

Коли локальна система координат визначена, вона стає активною. При створенні локальної системи їй потрібно привласнити ідентифікуючий номер, який повинен бути більше 10.

Локальні системи координат можуть бути створені декількома способами.

- Завдання локальної системи з використанням глобальної декартової системи координат:

Utility Menu > Workplane > Local Coordinate Systems > Create Local CS > AT Specified Loc

У вікні *Create CS at Location* потрібно ввести координати початку локальної системи координат, розділяючи їх комами й нажати **OK**.

У діалогові вікні *Create Local CS at Specified Location* потрібно вказати наступні параметри. У полі *KCN Ref number of new coord sys* вводимо номер системи координат, який повинен бути більше 10. Якщо вже існує система координат з таким номером, то вона буде перевизначена. У полі *KCS Type of coordinate system* необхідно вибрати тип системи координат (*Cartesian 0* — декартова, *Cylindrical 1* — циліндрична, *Spherical 2* — сферична й *Toroidal 3* — тороїдальна). У полі *XC, YC, ZC Origin of coord system* вводимо координати початку системи координат. У полях *THXY Rotation about local Z*, *THYZ Rotation about local X*, *THZX Rotation about local Y* вводимо значення кутів, на які необхідно повернути систему щодо осей глобальної декартової системи координат.

- Завдання локальної системи з використанням існуючих вузлів:

Utility Menu > Workplane > Local Coordinate Systems > Create Local CS > By 3 Nodes +

З появою вікна *Create CS By 3 Nodes* необхідно вибрати 3 вузли за допомогою „миші” або ввести їхні номери в командному рядку вікна вибору, розділяючи їх комами. Кожний з цих вузлів має строго певне призначення:

- перший вузол визначає початок локальної системи координат;

- другий вузол визначає позитивну орієнтацію осі X цієї системи координат;
- третій вузол визначає площину X - Y цієї системи координат.

Після вибору вузлів натискаємо **ОК**. У діалогові вікні, у рядку *KCN Ref number of new coord sys*, вводимо номер локальної системи координат (номер повинен бути більше 10), а в рядку *KCS Type of coordinate system* необхідно вибрати тип системи координат.

- Завдання локальної системи координат з використанням існуючих точок:

Utility Menu > Workplane > Local Coordinate Systems > Create Local CS > By 3 Keypoints +

Порядок дій аналогічний вищевикладеному, але замість вузлів фігурують точки.

- Завдання локальної системи координат, початок якої визначається робочою площиною:

Utility Menu > Workplane > Local Coordinate Systems > Create Local CS > At WP Origin...

При виконанні даного пункту центр і осі локальної системи координат будуть збігатися із центром і осями робочої площини.

Локальні системи координат можна створювати або видаляти в будь-який момент роботи із програмою. Видалити локальну систему координат можна в такий спосіб:

Utility Menu > Workplane > Local Coordinate Systems > Delete Local CS ...

У діалогові вікні *Delete Local CS* у рядку *KCN1 Delete coord system from* потрібно вказати номер цієї локальної системи координат, яку необхідно видалити.

Щоб видалити всі локальні системи координат необхідно в рядку *KCN1 Delete coord system from* ввести *ALL* і натиснути **ОК**. Можливо також видалити групу локальних координатних систем, для цього в рядку *KCN1 Delete coord system from* вводимо номер першої локальної системи координат,

а в рядку *KCN2 to* вводимо номер останньої локальної системи координат. У рядку *KCIN in Steps of* вказується крок видалення; при видаленні всієї групи крок видалення дорівнює одиниці.

Для перегляду статусу всіх глобальних і локальних систем координат виконаємо наступне:

Utility Menu >List > Other> Local Coord Sys

Систем координат може бути задано стільки, скільки потрібно, але активною в цей момент може бути тільки одна. Початково активною є глобальна декартова система. Знову введена система автоматично стає активною. Якщо потрібно активізувати одну із глобальних систем координат або одну з попередньо заданих необхідно виконати наступну операцію.

Utility Menu > Work Plane > Change Active CS to >

У випадяючому меню слід вибрати потрібну систему координат:

Global Cartesian

Global Cylindrical

Global Cylindrical Y

Global Spherical

Specified Coord Sys — при виборі даного пункту вказується номер системи координат.

Working Plane

1.1.5. Робоча площина

Розв'язку будь-якого завдання інженерної механіки передуює створення геометричної моделі досліджуваного об'єкта. Цей етап є, як правило, складним і трудомістким, тому що точність розв'язку завдання залежить від ступеня відповідності створюваної моделі реальному об'єкту.

Програма ANSYS має у своєму арсеналі можливості для імпорту готової моделі з великої кількості CAD-систем. При цьому імпортовані моделі можуть бути файлами з розширенням *.sat*, *.iges* і цілим рядом інших

форматів. Однак імпорт моделі не завжди здійснюється коректно, і часто модель виявляється непридатною для подальшого використання.

Разом з тим ANSYS оснащений власними, досить потужними засобами тривимірного моделювання. Особливе місце в ряді цих засобів займає *робоча площина*.

Робоча площина являє собою нескінченну площину із двовимірною системою координат з інтервалом фіксації й сіткою відображення. Це свого роду „планшет”, на якому Ви пишете курсором. Робочу площину можна задавати, переміщати й повертати. Коли відбувається звертання до програми ANSYS, робоча площина вже існує на площині x - y у глобальній декартовій системі координат; осі x - y робочої площини колінеарні з осями X и Y глобальної декартової системи координат.

Завдання робочої площини можливе декількома способами.

- Завдання робочої площини за допомогою трьох існуючих точок

Utility Menu > Workplane > Align WP with > Keypoints +

З появою вікна *Align WP with KP* потрібно вибрати 3 точки за допомогою миші або ввести їхні номери в командному рядку вікна, що відкрилося, розділяючи їх комами. Також у командному рядку можна ввести координати точок. Перша точка визначає початок системи координат робочої площини; друга визначає позитивний напрямок осі X ; третя — позитивний напрямок відліку для сектору.

- Завдання робочої площини за допомогою трьох існуючих вузлів

Utility Menu > Workplane > Align WP with > Nodes +

Алгоритм аналогічний вищевикладеному, тільки замість точок вибираємо вузли.

- Розміщення робочої площини на площині $X - Y$ (або $R - Q$) існуючої системи координат:

Utility Menu > Workplane > Align WP with > Active Coord Sys

При виборі цього пункту система координат робочої площини буде збігатися з активною в цей момент системою координат.

Utility Menu > Workplane > Align WP with >Specified Coord Sys...

При виборі даного пункту система координат робочої площини розташовується в обраній нами системі координат, номер якої вказується у вікні *Align WP with Specified CS*.

Utility Menu > Workplane > Align WP with > Global Cartesian

При виборі цього пункту система координат робочої площини розташовується в глобальній декартовій системі координат.

Переміщення робочої площини. Робочу площину можна переміщати в нове положення, але паралельно первісному, використовуючи один з наступних способів.

- Перенос початку координат робочої площини в середнє положення існуючих точок:

Utility Menu > Workplane > Offset WP to > Keypoints +

Вибір точок можна робити мишею або вводити їхні номери в командному рядку вікна вибору. Незалежно від числа точок, які визначають положення робочої площини, початок координат цієї площини буде розташовуватися в геометричному центрі фігури, створеної заданою безліччю точок.

Можна проробити ту ж операцію з використанням вузлів:

Utility Menu > Workplane > Offset WP to > Nodes +

- Перенос початку координат робочої площини в середнє положення заданих точок:

Utility Menu > Workplane > Offset WP to > XYZ Locations +

У командному рядку вікна вибору вводимо координати точок, розділяючи їх комами; після введення координат кожної точки натискаємо Enter, після введення останньої — **OK**.

- Перенос початку координат робочої площини в початок глобальної системи координат:

Utility Menu > Workplane > Offset WP to > Global Origin

- Перенос початку координат робочої площини в початок активної системи координат:

Utility Menu > Workplane > Offset WP to > Origin of Active CS

Робочою площиною можна також управляти за допомогою панелі *Offset WP*.

Utility Menu > Workplane > Offset WP by Increments...

Панель *Offset WP* складається з декількох секцій.

Кожна із цих секцій виконує певний набір функцій. Розглянемо їх докладно.

Група кнопок першої секції (рис. 1.7,а) дозволяє лінійно переміщати робочу площину уздовж осей X , Y , Z у позитивному й негативному напрямках. Бігунок *Snaps* встановлює крок лінійного зсуву робочої площини.

У рядку X , Y , Z *Offsets* можна вказати координати тієї точки, у яку необхідно перемістити початок координат робочої площини, при цьому осі робочої площини залишаться незмінними.

Кнопки другої секції (рис. 1.7,б) дозволяють повертати робочу площину навколо осей X , Y , Z у позитивному й негативному напрямках. Бігунок *Degrees* дозволяє змінювати крок повороту робочої площини. У рядку XY , YZ , ZX *Angles* можна вказати кути повороту системи координат робочої площини.

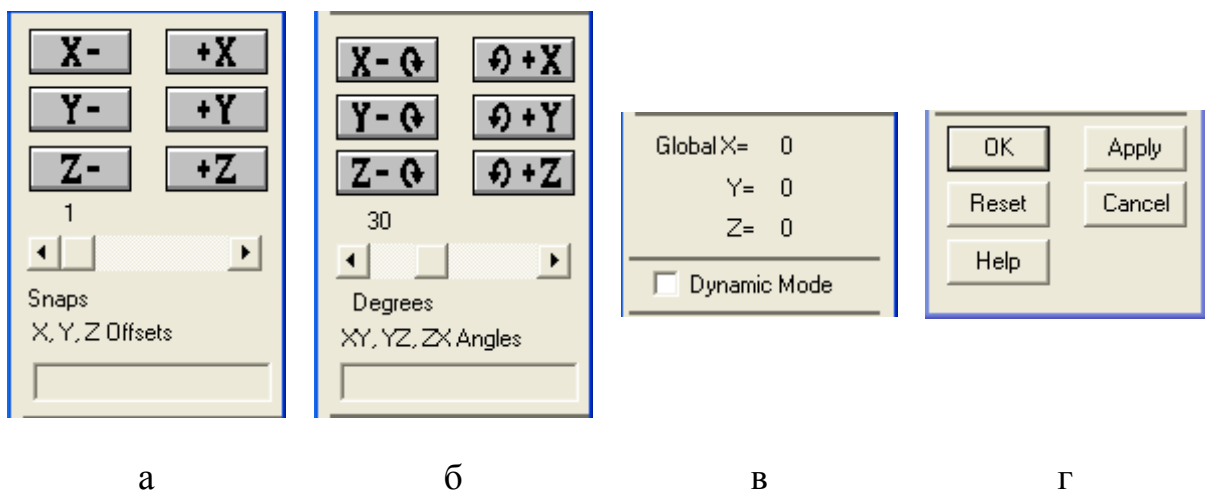


Рис. 1.7

У третій секції (рис. 1.7,в) містяться дані інформаційного характеру. Програма обчислює положення центру системи координат робочої площини щодо глобальної системи координат. Тут же розташовується опція *Dynamic Mode*, при включенні якої з'являється можливість управляти робочою площиною за допомогою миші, при цьому перенос і поворот робочої площини здійснюється відповідно кроку, встановленому на бігунках. Для переміщення робочої площини потрібно натиснути ліву кнопку миші й утримуючи її, переміщувати робочу площину в потрібному напрямку. Для повороту потрібно натиснути праву кнопку миші; при натисканні колеса прокручування поворот робочої площини здійснюється в площині екрану.

Остання секція (рис. 1.7,г) містить групу кнопок, які виконують наступні функції:

OK — виконує зазначені дії, закриваючи діалогове вікно;

Apply — виконує зазначені дії, залишаючи вікно відкритим;

Reset — скасовує зроблені дії;

Cancel — закриває діалогове вікно;

Help — виводить на екран довідку.

Налаштування опцій робочої площини. Робочу площину можна оснастити такими можливостями, як інтервал фіксації, сітка відображення, погрішність вибору й тип системи координат. Для цього необхідно скористатися наступним пунктом меню:

Utility Menu > Workplane > WP Settings...

У панелі *WP Settings* можна вибрати тип системи координат робочої площини. Для цього потрібно вибрати один з наступних пунктів:

- *Cartesian* — декартова система координат;
- *Polar* — полярна система координат.

Для зручності роботи з робочою площиною існують графічні опції.

Можливі кілька варіантів відображення:

- *Grid and Triad* — відображення сітки робочої площини й тріади;
- *Grid Only* — відображення тільки сітки робочої площини;

- *Triad Only* — відображення тільки тріади робочої площини.

Існує можливість встановити курсор у певну точку робочої площини. Для цього в рядку *Snap Incr* потрібно встановити інтервал фіксації, після чого будь-яка створювана за допомогою миші точка буде мати на робочій площині координату, кратну цілому числу інтервалів фіксації. Причому, один інтервал фіксації використовується одночасно як для координати X , так і для координати Y робочої площини.

У рядку *Spacing* вказується крок розбивки сітки робочої площини. Опції *Minimum*, *Maximum* визначають число одиниць розбивки в негативному й позитивному напрямках осей відповідно; при цьому кожна така одиниця розділена на число інтервалів, зазначених у рядку *Spacing*.

Опція *Tolerance* дозволяє задати величину, яка є критерієм приналежності обраного мишею об'єкту робочої площини. Це означає, що навіть якщо обраний об'єкт не лежить строго в робочій площині, але перебуває в межах заданої погрішності вибору, програма сприймає його лежачим у робочій площині.

Положення й статус робочої площини визначаються маршрутом
Utility Menu > List > Status > Working Plane

При зверненні до цього меню на екран виводяться характеристики поточного стану робочої площини. Для повернення робочої площини в задане за замовчуванням положення й стан, використовується команда **WPSTYL, DEFA.**

1.2. Твердотільне моделювання

Можна виділити два основні підходи при створенні моделі: *твердотільне моделювання* й *пряма генерація*.

При *твердотільному моделюванні* визначаються геометричні границі моделі, установлюються параметри керування розміром і формою елементів, після чого програма автоматично створює вузли й елементи.

При *прямій генерації* спочатку формують місце розташування кожного вузла, розміри, форми й зв'язки елементів, а потім створюють елементи моделі й усю модель у цілому.

Виділяють два основні способи побудови моделі: “знизу-вверх” і “зверху-вниз”.

При побудові “знизу-вверх” спочатку на робочу площину наносяться ключові точки, з'єднуючи які одержують лінії, потім — поверхні, потім — об'єми.

При побудові “зверху-вниз” модель збирають із готових “примітивів”, під якими в ANSYS розуміють лінії, поверхні й об'єми. При завданні такого примітива програма автоматично створює пов'язані з ним об'єкти “нижчого” рівня.

У програмі ANSYS використовуються різні способи побудови ключових точок, ліній і об'ємів.

1.2.1. Побудова ключових точок

- Побудова ключових точок в активній системі координат.

Побудуємо точки, які будуть вершинами паралелепіпеда.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У діалогові вікні *Create Keypoints in Active Coordinate System* у рядку *NPT Keypoint number* необхідно вказати номер точки, а в полях *X, Y, Z Location in active CS* ввести координати точки в активній системі координат. Отже, будемо точку 1 з координатами (1;1;0) (рис. 1.8).

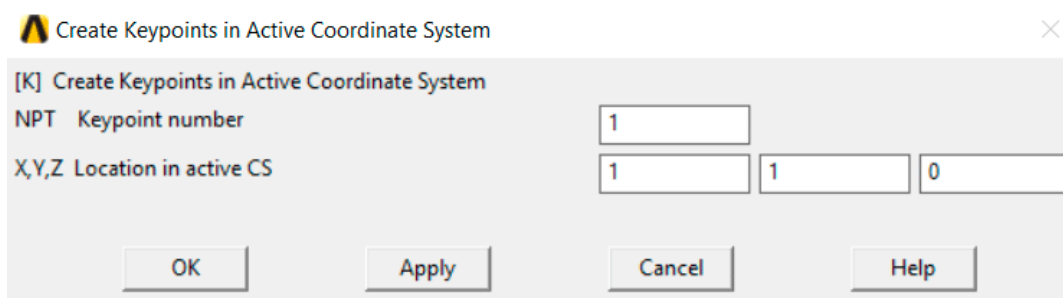



Рис. 1.8

Після введення кожної точки натискаємо **Apply**, при цьому створюється точка, й вікно залишається відкритим. Аналогічним образом будемо наступні точки: 2(2;1;0), 3(2;2;0), 4(1;2;0), 5(1;1;4), 6(2;1;4), 7(2;2;4), 8(1;2;4). Після введення останньої точки (точки 8) натискаємо **OK**. Подивимося отримане зображення в ізометричній проекції. У правім полі графічного вікна натискаємо кнопку  (рис. 1.9).

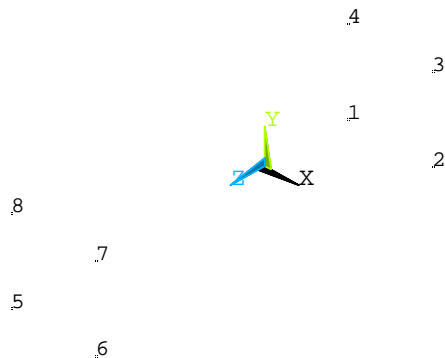


Рис. 1.9

Збережемо цю модель. Попередньо створимо на якому-небудь з жорстких дисків, у нашому випадку це диск *C*, папку з іменем *ANSYS*:

Utility Menu > File > Save as

У діалоговім вікні *Save Database* у полі *Save Database to* вводимо ім'я файлу *Keypoints* (рис. 1.10). У списку *Drives* вибираємо диск *C*, у списку *Directories* вказуємо папку *ANSYS*, у якій буде збережений файл, **OK**.

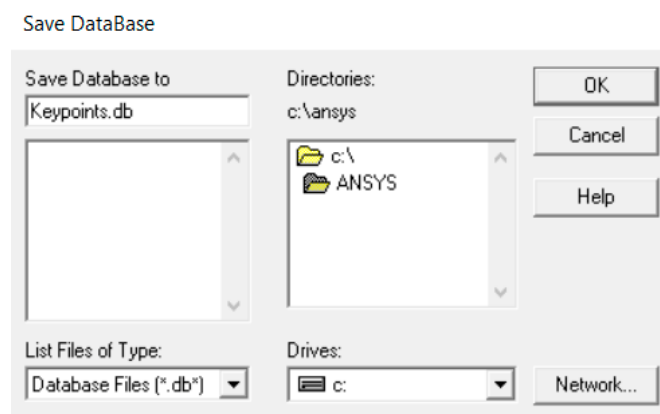


Рис. 1.10

Очистимо пам'ять програми, використовуючи наступний пункт меню:

Utility Menu > File > Clear & Start New

У вікні, що з'явилося, натискаємо **OK**, потім **Yes**.

- Побудова ключових точок на робочій площині.

Відобразимо на екрані робочу площину. Для цього необхідно скористатися наступним пунктом меню:

Utility Menu > Workplane > WP Settings...

У панелі *WP Settings*, у другій секції, вибираємо *Grid and Triad* – відображення сітки робочої площини й тріади.

Відобразимо робочу площину:

Utility Menu > Workplane > Display Working Plane

Переходимо до побудови точок:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>On Working Plane

З появою вікна *Create Kps on WP* затискаємо ліву кнопку миші і курсором вибираємо місце на робочій площині, де необхідно побудувати точку, при цьому координати точки відображаються у вікні *Create Kps on WP*. У такий спосіб курсором вказуємо дві точки з координатами (0.3; 0) і (0; 0.3) (рис. 1.11). Потім натискаємо **ОК**. У результаті побудови створено дві точки з номерами 1 і 2.

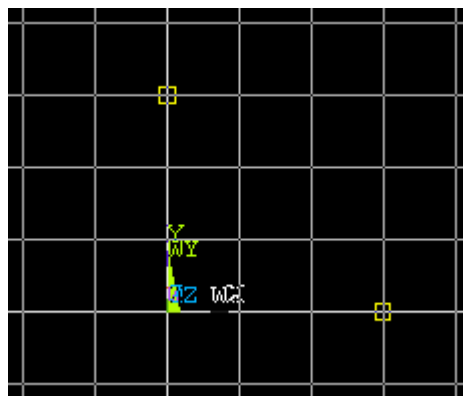


Рис. 1.11

Заберемо з розгляду робочу площину:

Utility Menu > Workplane > Display Working Plane

Пронумеруємо точки:

Utility Menu > Plotctrls > Numbering

У вікні *Plot Numbering Controls* у рядку *KP Keypoint numbers* встановимо перемикач із положення *Off* в *On*, потім натискаємо **ОК**.

За допомогою цього меню можна також пронумерувати: лінії (*LINE*), площини (*AREA*), об'єми (*VOLU*), вузли (*NODE*). За допомогою меню *Elem/Attrib numbering* можна відобразити об'єкти за певною ознакою: за номером елемента (*Element numbers*); за номером матеріалу (*Material numbers*); за номером типу елемента (*Element type num*); за номером реальних констант (*Real const num*); за номером типу поперечного перерізу (*Section numbers*); за номером типу системи координат елемента (*Element CS num*).

При установці перемикача з положення *Off* в *On* у рядку *TABN Table Names* на екран будуть виводитися імена таблиць для табличних граничних умов, а при установці перемикача в положення *On* у рядку *SVAL Numeric contour values* на екран будуть виводитися значення напружень у моделі, якщо виводяться результати розрахунків, або значення поверхневих навантажень, якщо на екран виводиться модель.

У меню *[/NUM] Numbering shown with* вибирається режим відображення нумерації: колір і номер (*Colors & numbers*); тільки колір (*Colors only*); тільки номер (*Numbers only*); не відображати нумерацію (*No color/numbers*).

Збережемо файл у папці *ANSYS* за назвою — 1.db.

- Побудова ключових точок на існуючій лінії.

Використовуючи попередній приклад, продовжимо побудову й створимо лінію:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

З появою меню *Create Straight Line* курсором миші по черзі вибираємо точки 1 і 2. Після вибору другої точки автоматично будується лінія. Закриваємо вікно натисканням кнопки **OK**.

Будуємо точки:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>On Line w/Ratio

З появою вікна *Create KP on Line* курсором миші виділяємо лінію й натискаємо **OK**. Якщо з якихось причин неможливо курсором виділити лінію, тоді в командному рядку даного вікна необхідно ввести номер лінії й

нажати **OK**. Потім у полі діалогового вікна *Create KP on Line* вказуємо наступні параметри (рис. 1.12).

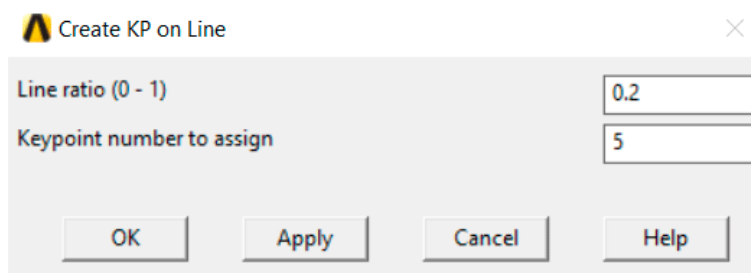


Рис. 1.12

Line ratio (0 - 1) — коефіцієнт довжини лінії, на якій розташовується точка; цей коефіцієнт може ухвалювати значення від 0,0 до 1,0.

Keypoint number to assign — номер створюваної точки (вказується при необхідності).

Результат побудови представлений на рис. 1.13.

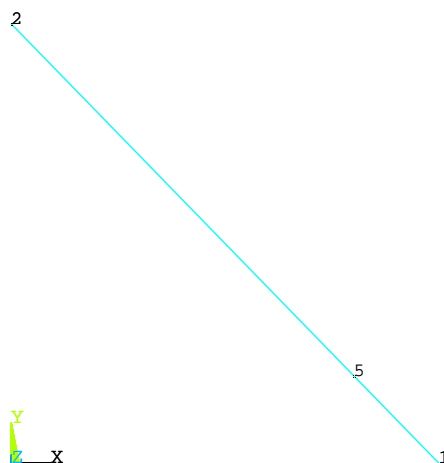


Рис. 1.13

- Побудова ключових точок в існуючому вузлі:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > On Node

У командному рядку панелі *Create KP on Node* вводимо номер вузла, у якому потрібно задати точку, або курсором миші вибираємо потрібний вузол. Потім натискаємо **OK**.

- Побудова ключової точки між двома існуючими точками.

Відкриємо раніше створений файл:

Utility Menu > File > Resume from

На диску *C*, у папці ANSYS, вибираємо файл — 1.db. Натискаємо **OK**.

Переходимо до побудови точки:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>KP between Kps

При відкритті діалогового вікна курсором виділяємо дві точки 1 і 2, потім натискаємо **ОК**. У вікні *Kbetween options* у рядку *[KBET] Value Type* вибираємо *RATI*, нижче, у полі *[KBET] Value (ratio, or distance)* вказуємо коефіцієнт відстані між обраними ключовими точками: 0.4 (коефіцієнт може приймати значення від 0,0 до 1,0). **ОК**.

Вибираючи пункт *DIST*, вказується абсолютна відстань між першою точкою й створюваної.

- Генерування ключових точок між двома існуючими.

Знову скористаємося файлом 1.db, попередньо очистивши робоче поле.

Згенеруємо вісім ключових точок між точками 1 і 2.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints > Fill between Kps

Курсором по черзі вибираємо точки 1 і 2, потім натискаємо **ОК**.

У діалогові вікні *Create KP by Filling between Kps* (рис. 1.14) вводимо наступні параметри:

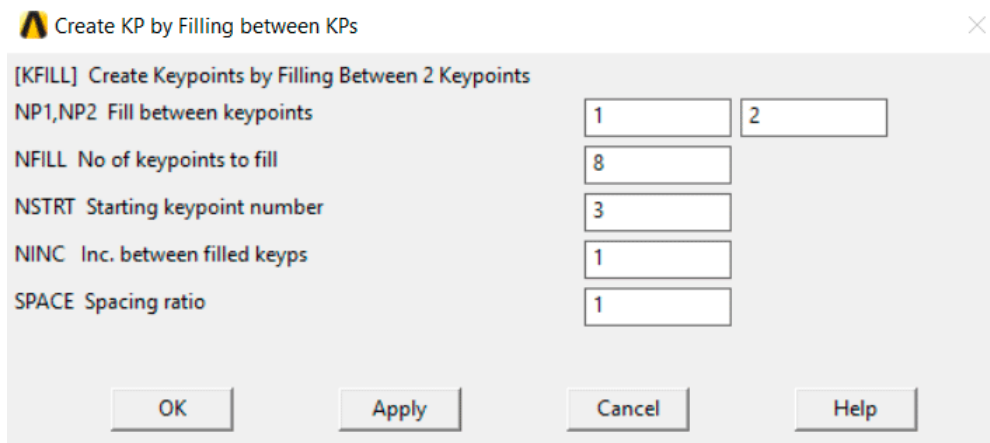


Рис. 1.14

NP1, NP2 Fill between keypoints — номери раніше обраних точок (задані автоматично);

NFILL No of keypoints to fill — кількість створюваних точок — 8;

NSTR Starting keypoints number — номер першої створюваної точки — 3;

NINC Inc. between filled keys — крок нумерації проміжних ключових точок — 1;

SPACE Spacing ratio — цей пункт дозволяє встановлювати проміжні точки на неоднаковій відстані друг від друга, величина коефіцієнта *SPACE* — це співвідношення відстаней між двома останніми й двома першими точками інтервалу, що розбивається. Якщо коефіцієнт дорівнює одиниці, проміжні точки розташовуються на однаковій відстані друг від друга. Після введення всіх параметрів натискаємо **ОК**. Результат побудови показаний на рис. 1.15.

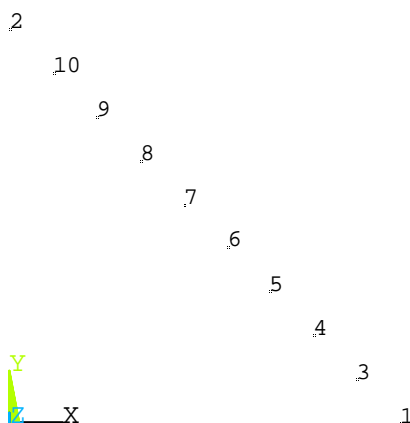


Рис. 1.15

Виконаємо цю операцію тільки в циліндричній системі координат. Для цього встановимо циліндричну систему координат:

Utility Menu > Work Plane > Change Active CS to > Global Cylindrical

Генеруємо точки:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints > Fill between Kps

Аналогічним чином заповнимо вікно (рис. 1.14).

На рис. 1.15 показаний результат генерації в циліндричній системі координат.

- Побудова ключової точки в центрі окружності, описаної трьома точками.

Ключова точка в центрі окружності може бути створена на підставі

а) трьох ключових точок (рис. 1.16).

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > KP at center > 3 keypoints

б) трьох ключових точок і радіусу (рис. 1.17):

**Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create > Keypoints > KP at center > 3
Kps and radius**

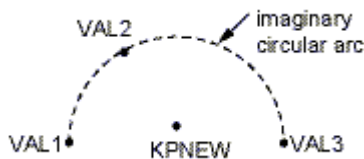


Рис. 1.16

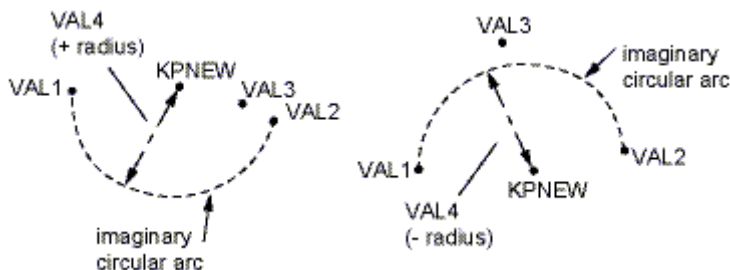


Рис. 1.17

в) трьох позицій на лінії (рис. 1.18):

**Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create > Keypoints > KP at center >
Location on line**

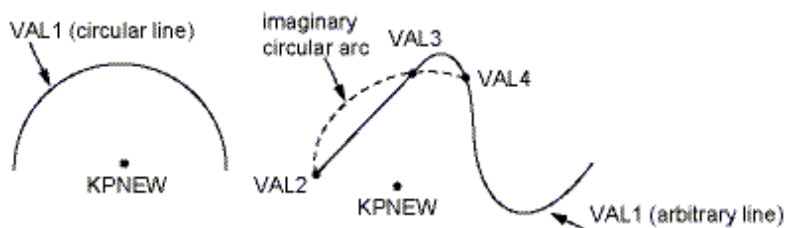


Рис.1.18

1.2.2. Побудова ліній

- Побудова прямої лінії незалежно від активної системи координат.
Скористаємося раніше збереженим файлом *Keypoints*.

Пронумеруємо точки й лінії:

Utility Menu > Plotctrls > Numbering

У вікні *Plot Numbering Controls* у рядках *KP Keypoint numbers* і *LINE Line numbers* установимо перемикачі з положення *Off* в *On*, потім натискаємо **OK**.

З'єднаємо точки лініями, які будуть гранями паралелепіпеда.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

З появою *Picking Menu* (меню вибору) *Create Straight Line* курсором миші по черзі вибираємо точки 1 і 2, після вибору другої точки автоматично будується лінія. Аналогічно, будуємо лінії, з'єднуючи наступні точки: 2 – 3; 3 – 4; 4 – 1; 5 – 6; 6 – 7; 7 – 8; 8 – 5; 1 – 5; 2 – 6; 3 – 7; 4 – 8. Закриваємо вікно натисканням кнопки **ОК** (рис. 1.19).

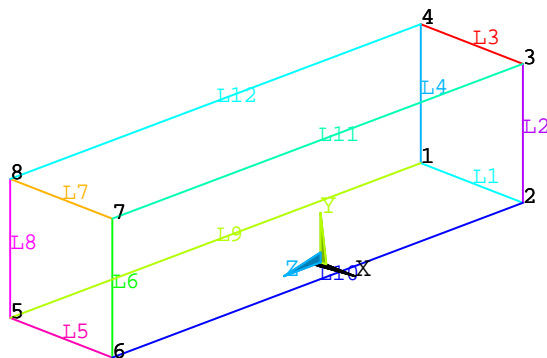


Рис. 1.19

Можна ввести номери точок у командному рядку *Picking Menu*, розділяючи їх комами; потім натиснути **ОК**, якщо побудова завершена, а якщо ні — **Apply**.

Побудова ліній відбувається в декартовій системі координат, незалежно від активної системи координат.

Відобразимо усі компоненти моделі:

Utility Menu > Plot > Multi-Plots

Збережемо цю модель під іменем – *Parallelepiped1.db*.

- Побудова лінії в активній системі координат:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>In Active Coord

Порядок роботи із цим пунктом аналогічний вищевикладеному, але побудова відбувається в активній системі координат.

- Побудова кривої лінії, яка має загальну дотичну з існуючою лінією.

Існують можливості побудови різного роду гладких кривих (для яких перша похідна завжди безперервна), що з'єднують точку з лінією або дві лінії між собою при певних початкових параметрах.

Створимо точки:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У вікні *Create Keypoints in Active Coordinate System* у рядку *NPT Keypoint number* вказуємо номер точки — 1, у полях *X, Y, Z Location in active CS* вводимо координати точки (0;0;0), потім натискаємо *Apply*. Аналогічним образом будуємо точки: 2(1;0.2;0), 3(1;-0.2;0). Після введення третьої точки натискаємо **ОК**.

З'єднаємо точки лініями:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

По черзі вибираємо точки 1 і 2 потім 1 і 3. Закриваємо вікно натисканням кнопки **ОК**. Збережемо файл під іменем *Lines1.db*

Будуємо криву. За допомогою цього пункту меню створюється крива лінія, що проходить через зазначену точку й кінець існуючої лінії, причому, ця лінія й існуюча в точці з'єднання будуть мати загальну дотичну.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Tangent to Line

Вибираємо верхню лінію, до якої буде примикати нова лінія, **ОК**. Потім вибираємо точку 2, у якій будуть з'єднуватися вихідна й нова лінії, **ОК**. Потім вибираємо точку 3, це точка, в якій буде закінчуватися нова лінія, **ОК**.

У діалогові вікні *Line Tangent to Line* (рис. 1.18), при необхідності, у полях *XV3, YV3, ZV3 Orientation point — (optional) of outward vector of new line at P3* задаються координати вершини вектора, що вказує напрямок дотичної на кінці лінії. Залишаємо вікно без змін і натискаємо **ОК**. Результат побудови показаний на рис. 1.20.

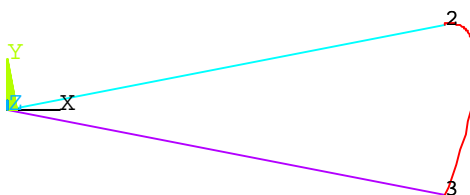


Рис. 1.20

При виборі наступного пункту меню побудова відбувається між двома лініями. У точці з'єднання нова лінія має загальну дотичну з вихідною лінією. Відкриємо файл *Lines.db* і пронумеруємо точки й лінії.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Tangent to 2 Lines

Вибираємо верхню лінію й натискаємо **ОК**, потім вказуємо точку 2 на цій лінії, **ОК**. Далі вибираємо нижню лінію, **ОК**. Вказуємо точку 3 на другій лінії, **ОК**. Закриваємо вікно натисканням **Cancel** (рис. 1.21). Збережемо файл за назвою Lines2.db.

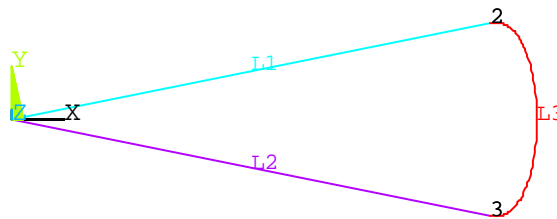


Рис. 1.21

- Побудова нормалі із точки на існуючу лінію:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Normal to Line

У цьому випадку треба виконати наступне:

- виділити лінію, до якої потрібно побудувати нормаль, **ОК**;
- виділити точку, з якої будується нормаль, натиснути **ОК**, якщо

побудова завершена або **Apply**, якщо побудову потрібно продовжити.

При побудові нормалі вихідна лінія в точці перетинання ділиться на дві лінії.

- Побудова нормалі між двома існуючими лініями:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Normal to 2 Lines

З появою меню вибору *Line Norm to 2 Lines* необхідно вказати дві лінії, між якими будується нормаль. Лінії не повинні лежати в одній площині й бути паралельними.

- Побудова лінії, що проходить під кутом до існуючої лінії:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>At Angle to Line

Порядок дій при використанні даного пункту полягає в наступному:

- вибрати лінію, до якої необхідно побудувати під деяким кутом іншу лінію, **ОК**;
- вибрати точку, з якої повинна бути побудована лінія, **ОК**;

– у діалоговім вікні *Straight line at angle to line* ввести величину кута між новою лінією й дотичної до існуючої лінії в точці їх перетинання.

- Побудова дуги окружності за допомогою 3-х ключових точок:

Main Menu>Preprocessor>Modeling> Create> Lines> Arcs> Through 3 Kps

Використовуючи даний пункт, необхідно вибрати 3 точки. Вибір точок можна здійснити мишею, або вводити номери точок у командному рядку, розділяючи їх комами. Необхідно дотримуватися наступного порядку вибору точок:

- вибрати дві точки, що визначають початок і кінець дуги окружності;
- вибрати третю точку, яка визначає положення площини дуги, її кривизну й не повинна лежати на прямій, що з'єднує кінцеві точки дуги.

Розглянемо *приклад*.

Створимо три точки:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У вікні *Create Keypoints in Active Coordinate System* у рядку *NPT Keypoint number* указуємо номер першої точки: 1, а в полях *X, Y, Z Location in active CS* відповідно вводимо координати точки (1;3;0) потім натискаємо *Apply*. Аналогічним образом будуємо точки: 2(5;2;0) і 3(3;4;0). Після введення третьої точки натискаємо **OK**.

Переходимо до побудови дуги:

Main Menu>Preprocessor>Modeling> Create> Lines> Arcs> Through 3 Kps

Курсором вибираємо точки 1 і 2, які визначають початок і кінець дуги, потім точку 3, що визначає положення площини дуги і її кривизну. **OK** (рис. 1.22).

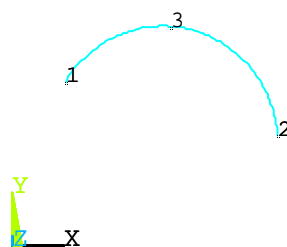


Рис. 1.22

- Побудова окружності за допомогою 3-х точок і радіусу.

Скористаймося попереднім прикладом і видалимо лінію:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Lines Only

У меню вибору, натискаємо **Pick All**.

Будуємо дугу:

**Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Arcs > By End
Kps & Rad**

Курсором вказуємо точки 1 і 2, точки, що визначають початок і кінець дуги, **ОК**. Потім вказуємо точку 3, яка визначає положення площини, у якій лежить дуга, і розташовується з боку ввігнутості дуги, причому, радіус кривизни дуги проходить через цю третю точку, **ОК**. У вікні, що з'явилося, у верхньому рядку вводимо величину радіусу: 5, **ОК**.

- Побудова по центру окружності й величині центрального кута (побудова відбуваються на робочій площині):

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Arcs>By Cent & Radius

Натисканням лівої кнопки миші на робочій площині (за замовчуванням це площина xy) вибираємо довільну точку, яка буде центром деякої окружності. Цю точку можна вибрати, задаючи координати в командному рядку меню вибору. Потім аналогічним образом вибираємо другу точку, яка визначає радіус окружності, при цьому в графічному вікні відображається передбачувана окружність (рис. 1.23).

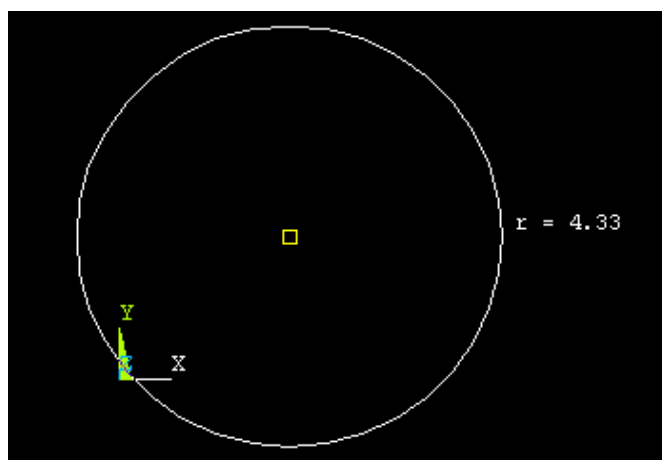


Рис. 1.23

Вибір другої точки виводить на монітор вікно (рис. 1.24), де вказуємо величину центрального кута — 300, який визначає довжину дуги окружності (якщо вказати кут 360^0 , то з'явиться повна окружність). При цьому позитивний напрямок відлічується проти годинникової стрілки. Нижче вказуємо кількість ліній з яких буде складатися дуга — 10.

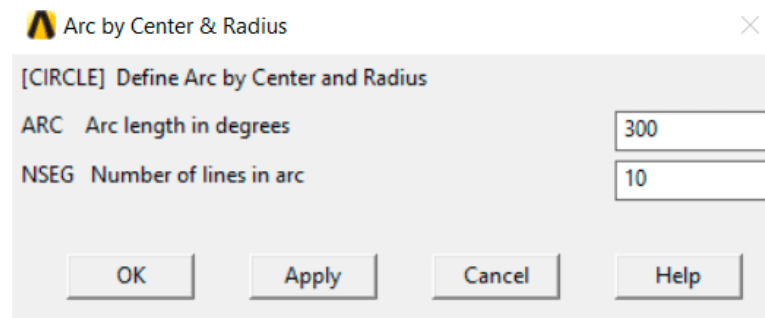


Рис. 1.24

Закриваємо вікно натисканням кнопки **ОК** (рис. 1.25).

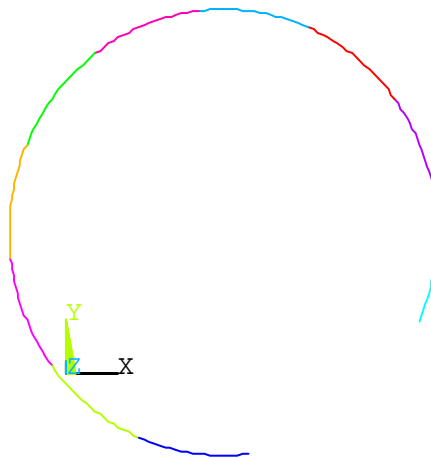


Рис. 1.25

- Побудова окружності:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Arcs>Full Circle

При виборі цього пункту меню на робочій площині будується повна окружність, яка складається з чотирьох дуг. Для побудови окружності необхідно виділити 2 точки; перша визначає центр окружності, друга — радіус.

- Побудова сплайна, що проходить через ряд ключових точок.

Відобразимо на екрані робочу площину:

Utility Menu > WorkPlane > WP Settings...

У панелі *WP Settings*, у другій секції, вибираємо *Grid and Triad* — відображення сітки робочої площини й тріади.

Utility Menu > Workplane > Display Working Plane

Створимо на робочій площині вісім точок:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>On Working Plane

Курсором, зліва направо, вказуємо точки на робочій площині відповідно до тих, що зображені на рис. 1.26, а (перша точка розташована на початку координат). Потім натискаємо **ОК** (рис. 1.26, б).

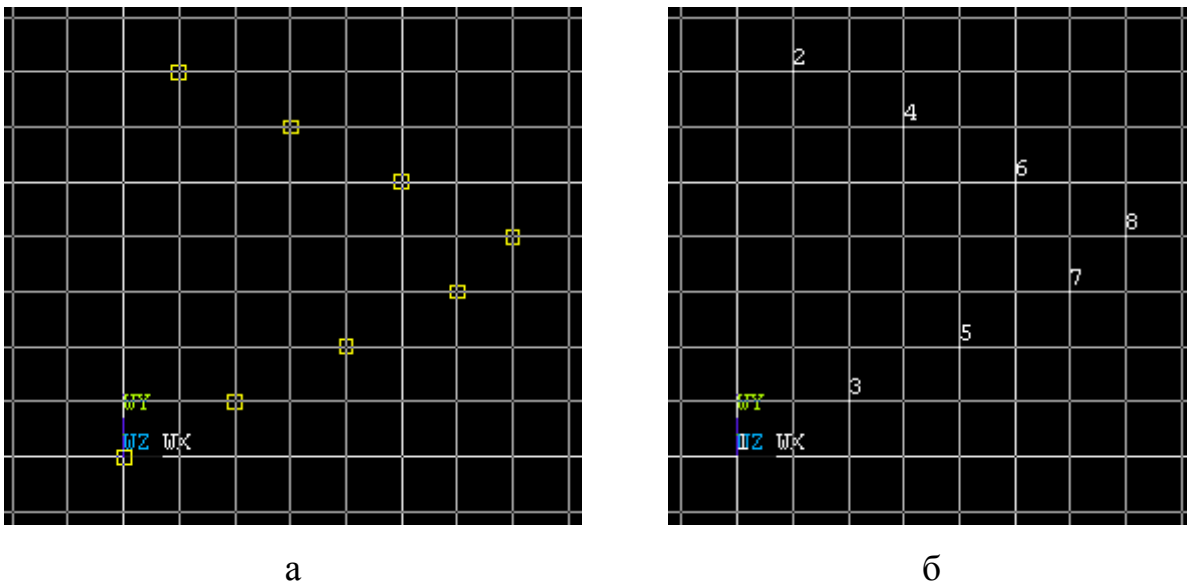


Рис. 1.26

Для побудови сплайна можна скористатися одним з наступних способів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Splines > Spline thru Locs

Виділяємо точки 1 і 8, це точки, які визначають початок і кінець сплайна, **ОК**. Потім по черзі вказуємо групу точок, через які буде проходити сплайн: 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7, **ОК**. Ці точки не обов'язково повинні існувати, вибір можна робити за допомогою миші на робочій площині (можна вводити координати точок у командному рядку меню вибору *B-Spline*). Результат побудови представлений на рис. 1.27.

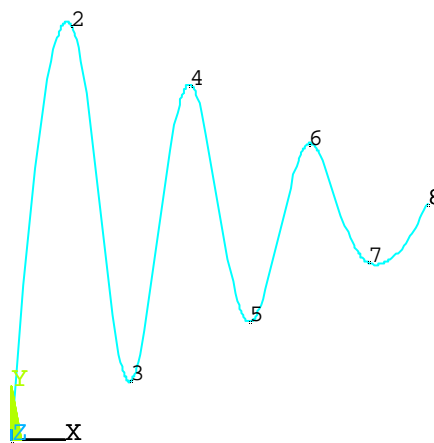


Рис. 1.27

Перш ніж перейти до наступного способу, видалимо лінію:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Lines Only

У меню вибору натискаємо **Pick All**.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Splines > Spline thru Kps

За допомогою миші вибираємо послідовно точки, через які буде проходити сплайн: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 (можна вказати номери точок у командному рядку вікна *B-Spline*, розділяючи їх комами), **ОК**.

- Побудова сплайна, що складається із криволінійних відрізків:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Splines > Segmented Spline

Для побудови сплайна необхідно виділити точки, через які буде проходити сплайн. Ці точки розділять сплайн на криволінійні відрізки.

- Додаткові можливості побудови сплайну.

Побудова сплайну з зазначенням орієнтації дотичної лінії на його кінцях. Для цього необхідно скористатися одним з наступних пунктів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Splines > With Options > Spline thru Locs

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Splines > With Options > Spline thru Kps

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Splines > With Options > Segmented Spline

Алгоритм роботи із цими пунктами аналогічний вищевикладеному, тільки на останньому етапі з'являється діалогове вікно *B-Spline*, у полях якого необхідно вказати наступне:

Start tangent XV1, YV1, ZV1 — координати вектора дотичної на початку сплайну;

Ending tangent XV6, YV6, ZV6 — координати вектора дотичної наприкінці сплайну.

- Побудова лінії скруглення між двома лініями.

Використовуючи маршрут Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS, створимо три точки: 1(0;0;0), 2(1;0;0), 3(0;1;0). Потім за допомогою маршруту Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line, з'єднаємо лініями точки 1 – 2 і 1 – 3.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Line Fillet

З появою меню вибору *Line Fillet* вибираємо обидві лінії, між якими буде побудовано скруглення, **ОК**. У діалогові вікні *Line Fillet* вводимо наступні параметри (рис. 1.28).

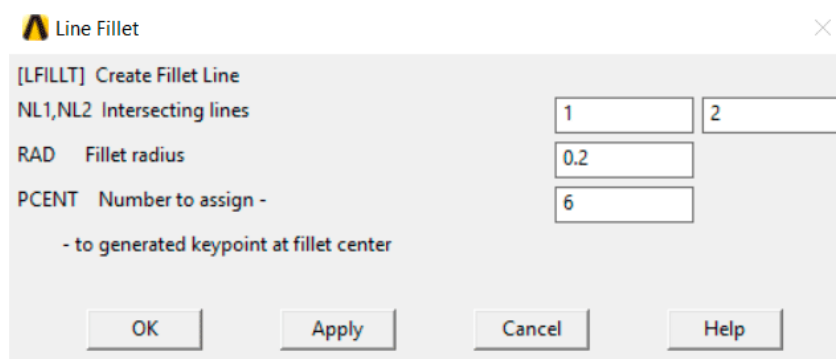


Рис. 1.28

NL1, NL2 Intersecting lines — номери ліній, між якими задається скруглення; *RAD Fillet radius* — радіус дуги скруглення;

PCENT Number to assign — номер точки, яка буде створена в центрі окружності дуги скруглення. Якщо залишити вікно порожнім, точка не буде побудована, **ОК** (рис. 1.29).

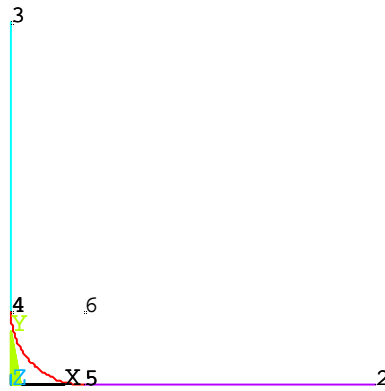


Рис. 1.29

1.2.3. Побудова поверхонь

- Побудова поверхні за допомогою ключових точок, які є вершинами поверхні.

Відкриємо раніше збережений файл *Parallelepiped1.db*:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through Kps

З появою меню вибору *Create Area Through Kps* необхідно вибрати ключові точки, які є вершинами створюваної поверхні, потім натиснути **ОК**. Курсором миші вибираємо точки: 1 – 2 – 3 – 4 (можна вводити номери точок у командному рядку активного вікна). Натискаємо **Apply**, створюється поверхня, й вікно залишається активним. Продовжуємо побудову й указуємо наступні групи точок: 1 – 5 – 8 – 4, **Apply**, потім: 1 – 5 – 6 – 2, **ОК**.

Відобразимо усі компоненти моделі: **Utility Menu > Plot > Multi-Plots**. Отримане зображення представлено на рис. 1.30.

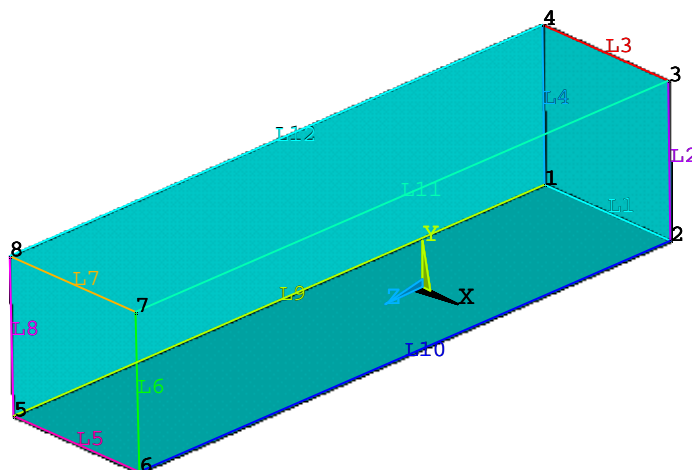


Рис. 1.30

- Побудова поверхні за допомогою ліній, що визначають границі створюваної поверхні:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>By Lines

Використовуючи цей пункт, необхідно виділити лінії, що визначають границі створюваної поверхні, і нажати **OK**. Контур, обмежений лініями, повинен бути замкнутий. Курсором вибираємо лінії: *L3, L11, L7* і *L12*, **Apply**. Далі вибираємо лінії *L2, L11, L6, L10*, **Apply**. Потім *L5, L6, L7, L8* і закриваємо вікно натисканням кнопки **OK**.

Відобразимо поверхні: Utility Menu > Plot > Areas (рис. 1.31).

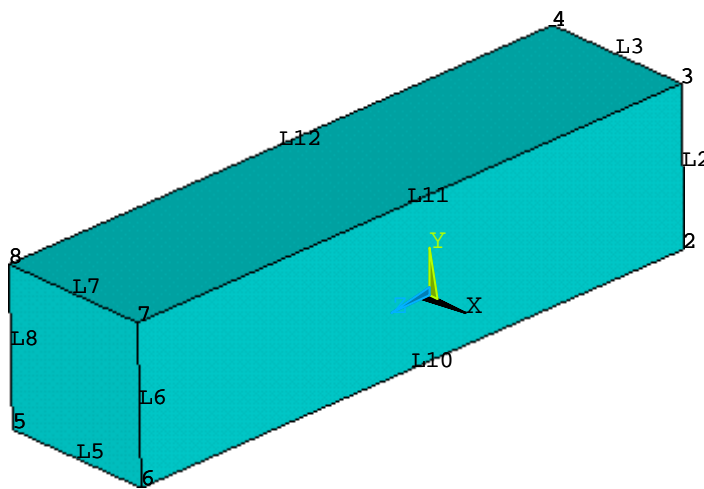


Рис. 1.31

Збережемо отриману модель під іменем *Parallelepiped2.db*.

- Побудова поверхні шляхом “обтягування каркаса” з направляючих ліній.

Спочатку створимо направляючі лінії *L1, L2, L3*. Для цього побудуємо 7 точок і з'єднаємо їх лініями.

Створення точок:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У полі *NPT Keypoint number* вводимо номер точки, а в полях *X, Y, Z Location in active CS* вводимо координати точок; після введення координат кожної точки натискаємо *Apply*, після введення останньої — **OK**:

1(0, 0, 0); 2(1, 0, 0); 3(0, 0.5, 0.5); 4(0.5, 0.5, 0.7); 5(1, 0.5, 0.5); 6(0, 1, 0); 7(1, 1, 0).

З'єднуємо точки лініями:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

Попарно з'єднуємо точки 1-2; 6-7. **ОК.**

Через точки 3, 4, 5 будуємо дугу:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Arcs>Through 3Kps

Курсором виділяємо точки 3 і 5 на кінцях дуги, потім виділяємо точку 4, **ОК.**

Пронумеруємо лінії:

Utility Menu > PlotCtrls > Numbering...

У вікні *Plot Numbering Controls* у рядку *LINE Line Numbers* ставимо перемикач у положення *On*, **ОК.**

Відобразимо лінії:

Utility Menu > Plot > Lines

“Натягаємо” поверхню на каркас, який складається з ліній *L1*, *L3*, *L2*:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>By Skinning

По черзі виділяємо лінії *L1*, *L3* і *L2*, **ОК** (рис. 1.32).

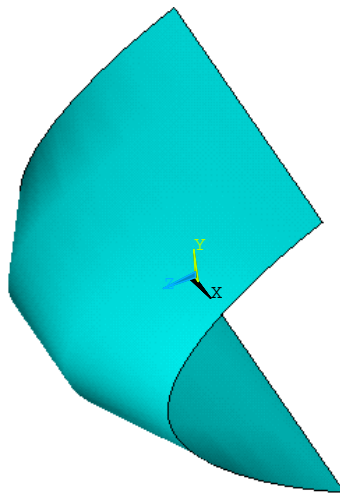


Рис. 1.32

У результаті “натягування” з’явилась поверхня і дві крайні лінії *L4* і *L5*.

- Побудова нової поверхні зсувом існуючої поверхні, як, наприклад, при зниженні або підвищенні тиску в повітряній кульці.

Скористаємося моделлю з попереднього прикладу й продовжимо побудову.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>By Offset

З появою меню вибору *Create Area By Offset* курсором виділяємо поверхню, **ОК**.

У діалоговому вікні *Create Area By Offset from Base Area* (рис. 1.33) у рядку *DIST Offset distance* вводимо відстань між існуючою поверхнею й новою: - 0.5, **ОК** (рис. 1.34).

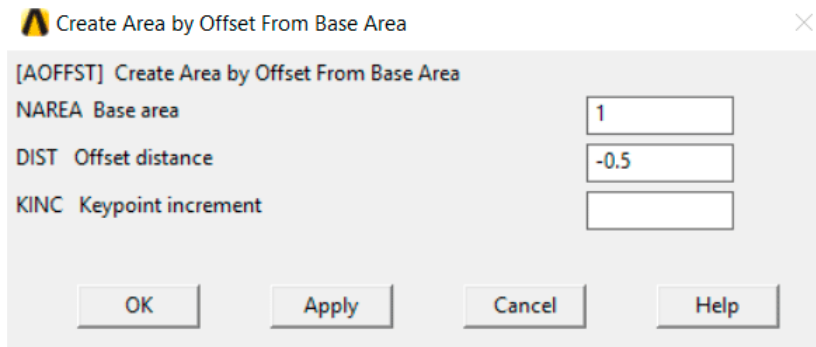


Рис. 1.33

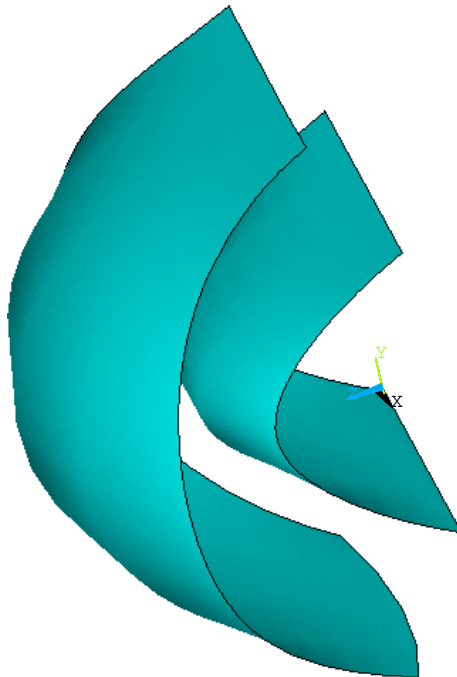


Рис. 1.34

1.2.4. Побудова плоских примітивів

Усі побудови виконуються на робочій площині.

- Побудова прямокутника за допомогою однієї кутової точки, ширини й висоти:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By 2 Corners

У вікні *Rectangle by 2 Corners* вводимо наступні параметри (рис. 1.35):
WP X, *WP Y* — координати *X* и *Y* одного з кутів прямокутника на робочій площині;

Width — ширина прямокутника;

Height — висота прямокутника.

Закриваємо вікно натисканням кнопки **OK** (рис. 1.36).

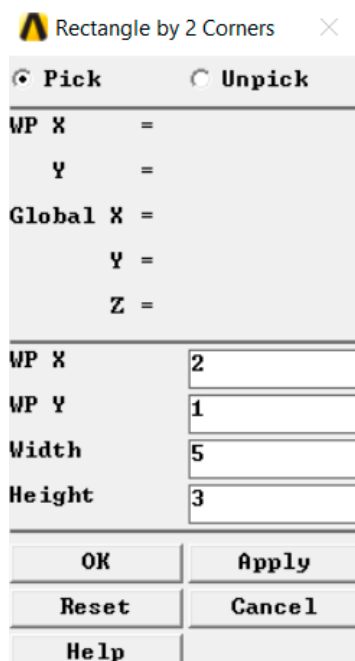


Рис. 1.35




Рис. 1.36

Продовжимо побудову й створимо такий же прямокутник, попередньо повернувши робочу площину.

Повернемо робочу площину навколо осі *y* на 90° за годинниковою стрілкою:

Utility Menu > Workplane > Offset WP by Increments...

У полі *Degrees XY, YZ, ZX Angles* вводимо: 0,0,-90. **OK**.

У правій частині графічного вікна натискаємо кнопку  для перегляду зображення в ізометричній проекції.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By 2 Corners

У полях *WP X*, *WP Y* вводимо відповідно 2 і 1. Далі вказуємо ширину прямокутника (*Width*) — 5 і висоту (*Height*) — 3, **OK** (рис. 1.37).

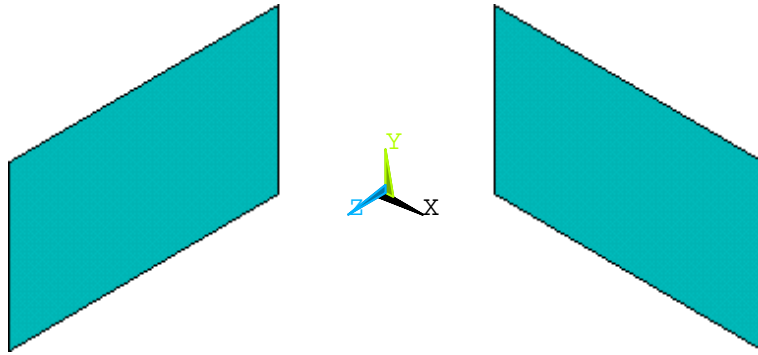


Рис. 1.37

Можлива побудова за допомогою миші. Перше натискання кнопки миші визначає положення кута прямокутника, друге — висоту й ширину, при цьому всі параметри автоматично відображаються в активному вікні.

- Побудова прямокутника за допомогою центральної точки, висоти й ширини:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > By Centr & Cornr

Для побудови необхідно ввести:

WP X, *WP Y* — координати *X* и *Y* центру прямокутника на робочій площині;

Width — ширина прямокутника;

Height — висота прямокутника.

Так само побудову можна здійснювати за допомогою миші на робочій площині.

- Побудова прямокутника за допомогою двох протилежних кутових точок.

Побудуємо прямокутник (рис. 1.38) з координатами протилежних кутів $(-2;-1)$ і $(3;2)$.

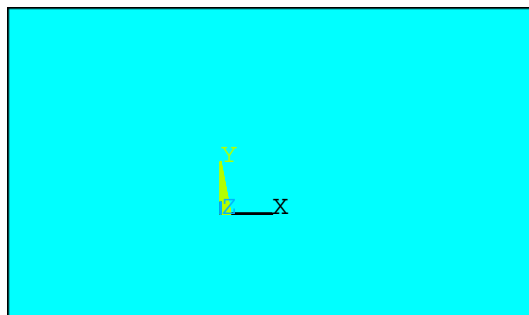


Рис. 1.38

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > By Dimensions

У вікні *Create Rectangle By Dimensions* (рис. 1.39) у рядку *X1, X2 X-coordinates* вводимо *x-координати* двох протилежних кутових точок, у рядку *Y1, Y2 Y-coordinates* — *y-координати*. Закриваємо вікно натисканням кнопки **OK**.

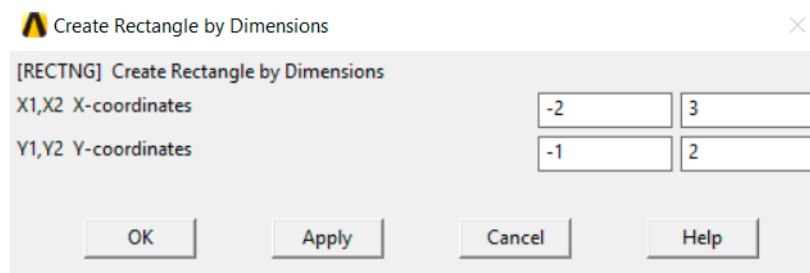


Рис. 1.39

- Побудова кола по центру й радіусу:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>Solid Circle

Тут з'являється вікно *Solid Circular Area*, у якому необхідно ввести: *WP X*, *WP Y* — координати центру окружності; *Radius* — величина радіусу.

- Побудова кільця:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>Annulus

Щоб побудувати кільце (рис. 1.40), необхідно у вікні *Annular Circular Area* ввести наступні параметри: *WP X*, *WP Y* — координати центру кільця; *Rad — 1*, *Rad — 2* — внутрішній і зовнішній радіуси кільця.

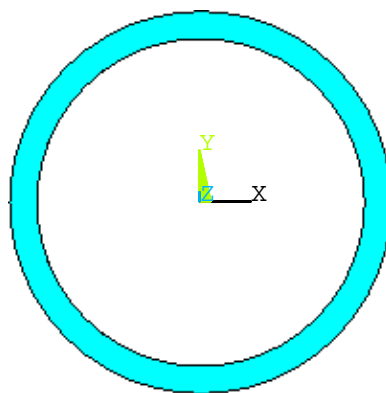


Рис. 1.40

- Побудова сегменту:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>Partial Annulus

У вікні *Part Annular Circ Area* вводимо наступні параметри (рис. 1.41).

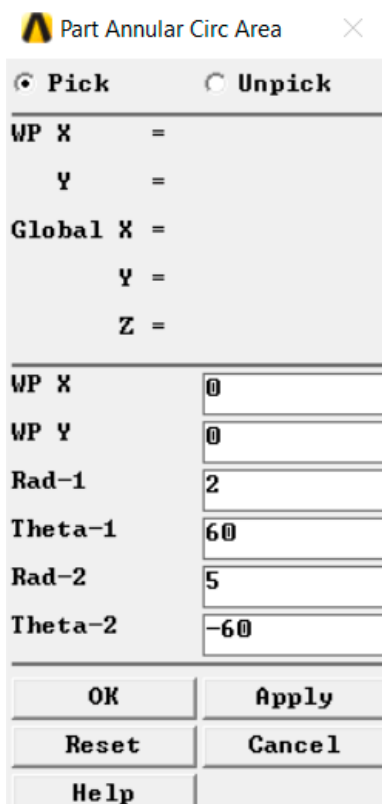


Рис. 1.41

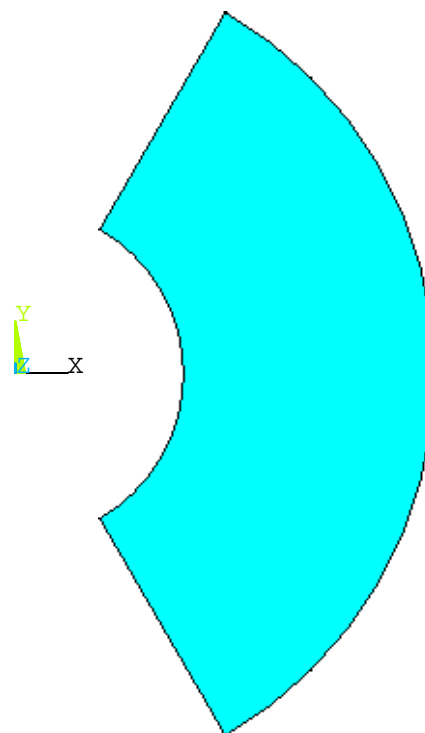


Рис. 1.42

$WP X$, $WP Y$ — координати центру кола;

$Rad - 1$, $Rad - 2$ — внутрішній і зовнішній радіуси сегменту;

$Theta - 1$, $Theta - 2$ — кути, відкладаються від осі X (позитивним є напрямком проти годинникової стрілки), і визначають положення сегменту.

Після введення всіх параметрів натискаємо **ОК** (рис. 1.42).

- Побудова кола по двох точках, які визначають діаметр:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Circle > By End Points

У вікні *Circ Area by End Pts* необхідно ввести:

$WP XE1$, $WP YE1$ — координати точки початку окружності;

$WP XE2$, $WP YE2$ — координати точки, що визначає діаметр окружності.

- Побудова кола, сектору, кільця із центром на початку координат робочої площини:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>By Dimensions

Заповнюємо вікно *Circular Area by Dimensions* відповідно до рис. 1.43.

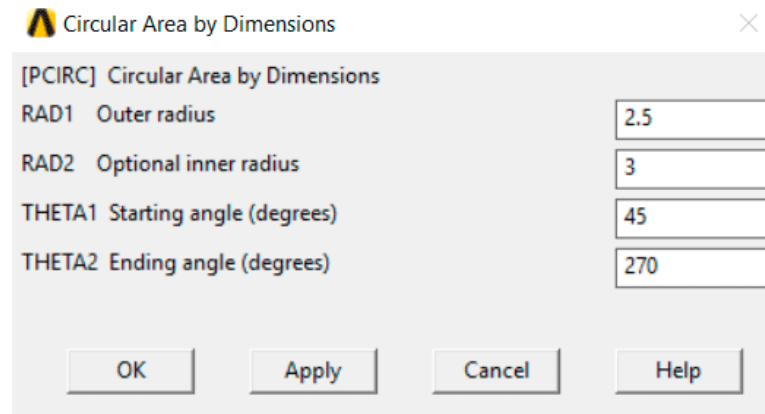


Рис. 1.43

RAD 1 Outer radius — внутрішній радіус сегменту (при побудові окружності це поле пропускається);

RAD 2 Optional inner radius — зовнішній радіус сегменту або радіус окружності;

THETA1, *THETA2* — кути, які відкладаються від осі *X* (позитивним є напрямом проти годинникової стрілки) і визначають положення сегменту (при побудові кільця або кола у вікні *THETA1* необхідно ввести 0, а у вікні *THETA2* — 360).

Закриваємо вікно натисканням **ОК** (рис. 1.44).

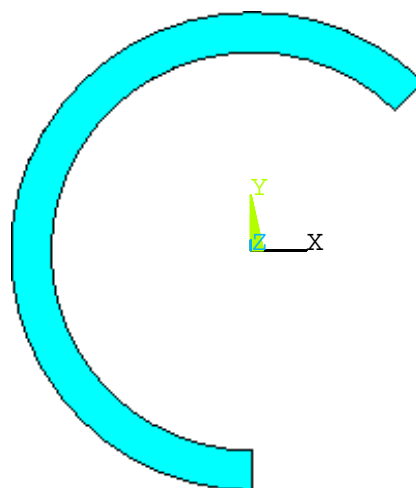


Рис. 1.44

- Побудова правильних багатокутників у довільнім місці робочої площини:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>Triangle

У діалогові вікні *Triangular Area* необхідно вказати (рис. 1.45):

WP X, *WP Y* — координати центру трикутника;

Radius — радіус окружності, описаної навколо трикутника;

Theta — кут, який дозволяє орієнтувати багатокутник щодо осі *X* робочої площини. Позитивним вважається поворот на кут *Theta* проти годинникової стрілки **ОК**. Отримана модель показана на рис. 1.46.

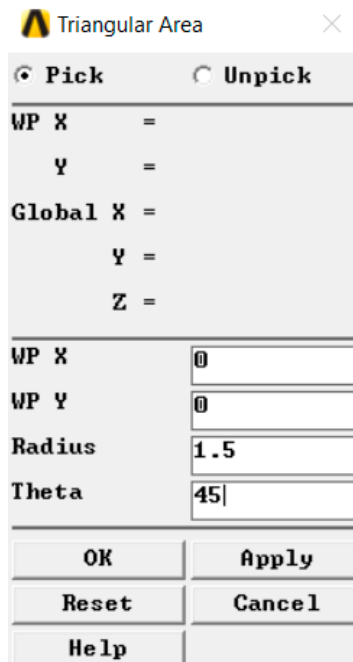


Рис. 1.45

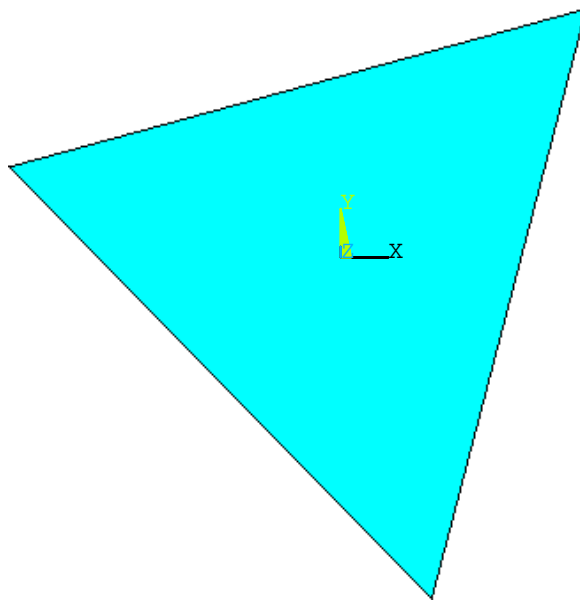


Рис. 1.46

Діалогові вікна наступних пунктів, що дозволяють побудувати інші правильні багатокутники, аналогічні описаному вище.

- Побудова чотирикутника:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>Square

- Побудова п'ятикутника:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>Pentagon

- Побудова шестикутника:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>Hexagon

- Побудова семикутника:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>Septagon

- Побудова восьмикутника:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>Octagon

- Побудова правильного багатокутника із центром на початку координат робочої площини й радіусом вписаної окружності:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Polygon > By Inscribed Rad

У діалогові вікні *Polygone by Inscribed Radius* слід ввести наступні параметри:

NSIDES Number of sides — кількість сторін багатокутника: 10;

MINRAD Minor (inscribed) radius — радіус вписаної окружності: 2.

На рис. 1.47 зображений результат побудови.

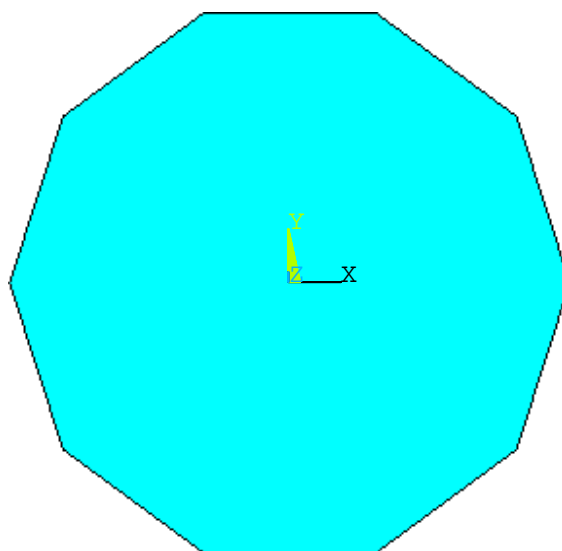


Рис. 1.47

- Побудова правильного багатокутника із центром на початку координат робочої площини й радіусом описаної окружності:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Polygon > By Circumscr Rad

У вікні *Polygon by Circumscribed Radius* у полі *NSIDES Number of sides* вводимо кількість сторін багатокутника; у полі *MAJRAD Major (circumscr) radius* — величину радіусу описаної окружності.

- Побудова правильного багатокутника по довжині сторони й із центром на початку координат робочої площини:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Polygon > By Side Length

У вікні *Polygon by Side Length*, у рядку *NSIDES Number of sides* вводимо кількість сторін багатокутника, у поле *LSIDE Length of each side* — довжину сторони багатокутника.

- Побудова багатокутника довільної форми по вершинах:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Polygon>By Vertices

У командному рядку вікна вибору вводимо координати вершин багатокутника. Після введення кожної координати натискаємо **Enter**, після введення останньої **OK**, якщо побудову завершено. Вибір вершини можна здійснити курсором миші на робочій площині.

- Побудова поверхні скруглення в місці перетинання двох площин:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Area Fillet

При активації даного пункту необхідно виконати наступні дії:

- виділити дві поверхні, в місці перетинання яких необхідно побудувати скруглення, **OK**;
- у діалоговому вікні *Area Fillet* у рядку *RAD Fillet radius* ввести величину радіусу скруглення, **OK**.

1.2.5. Побудова об'ємів

- Побудова довільного об'єму за допомогою вершин.

Відкриємо раніше збережений файл *Keypoints.db*.

Пронумеруємо точки:

Utility Menu > Plotctrls > Numbering

У вікні *Plot Numbering Controls* у рядку *KP Keypoint numbers* установимо перемикач із положення *Off* в *On*, потім натискаємо **OK**.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Through Kps

Для побудови об'єму послідовно виділяємо всі точки, що належать двом будь-яким протилежним граням об'єму, обходячи точки однієї грані

послідовно (за годинниковою стрілкою або проти неї); при цьому обов'язковою є умова: точки, з яких починається обхід граней, повинні лежати в створі одна з одною.

Вибираємо точки, що належать двом протилежним граням, у наступному порядку: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8. **ОК** (рис. 1.48).

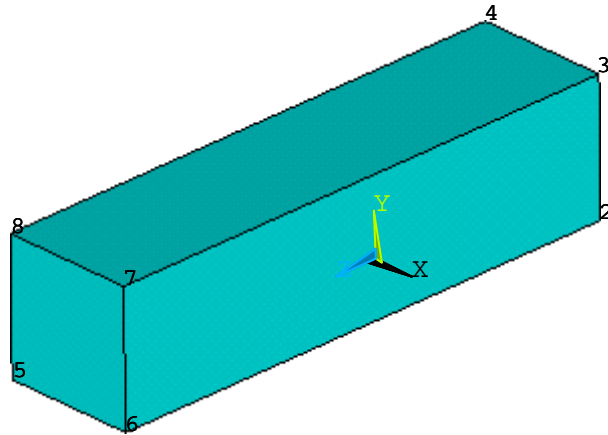


Рис. 1.48

- Побудова об'єму за допомогою поверхонь:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Arbitrary>By Areas

З появою вікна *Create Volume by Areas* необхідно виділити площини, які будуть обмежувати новий об'єм, потім натиснути **ОК**.

1.2.6. Побудова об'ємних примітивів

- Побудова паралелепіпеда по координатах кута й геометричним розмірам

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes >Block > By 2 Corners & Z

У вікні *Bloc by 2 Corners & Z* вводимо наступні параметри (рис. 1.49):

WP X, *WP Y*— координати вершини кута паралелепіпеда на робочій площині;

Width — довжина сторони основи, яка паралельна осі *X* або належить їй, і розташована на робочій площині;

Height — довжина сторони основи, яка паралельна осі *Y* або належить їй, і розташована на робочій площині;

Depth — довжина ребра паралелепіпеда, паралельного осі *Z*.

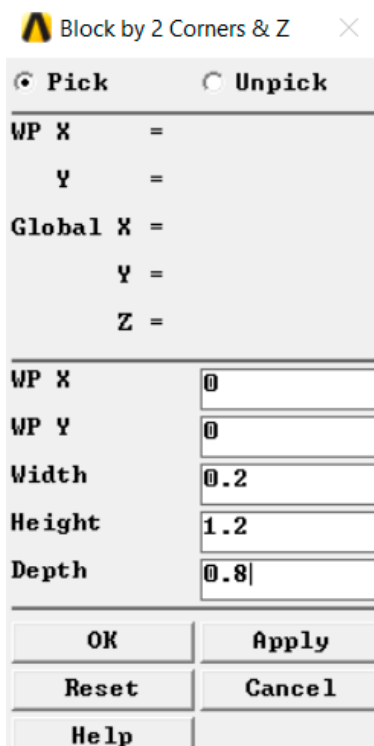


Рис. 1.49

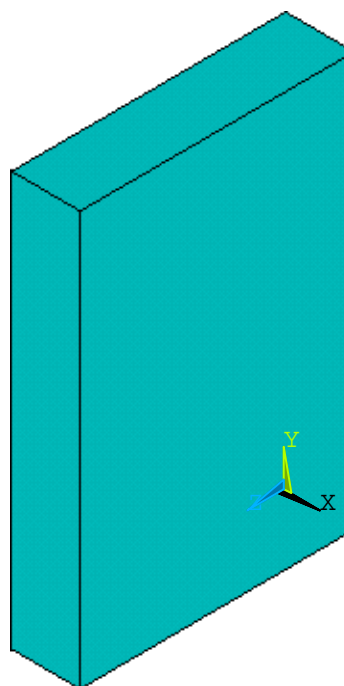


Рис. 1.50

Після введення всіх параметрів закриваємо вікно натисканням кнопки **OK** (рис. 1.50).

Побудову можна здійснювати мишею, указавши на моніторі 3 точки. Перша точка визначає вершину кута, з якої починається побудова основи. Друга точка визначає діагональ основи паралелепіпеда, а третя — висоту. Параметри, відповідні до зазначених точок, при виборі курсором автоматично з'являються в полях введення вікна вибору.

- Побудова паралелепіпеда по координатах центру основи й геометричним розмірам:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By Centr, Cornr, Z

Порядок дій у даному пункті аналогічний зазначеному вище, але в полях *WP X*, *WP Y* необхідно ввести координати центру основи паралелепіпеда в робочій площині.

- Побудова паралелепіпеда по координатах протилежних вершин:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes >Block > By Dimensions

У вікні *Create Block By dimensions* необхідно ввести координати протилежних вершин паралелепіпеда, тобто тих вершин, які визначають діагональ паралелепіпеда.

Наприклад, побудуємо паралелепіпед по двох вершинах з такими координатами: 1(0; 0; 0), 2(1; 1,5; 2). Для цього вікно *Create Block by Dimensions* слід заповнити в такий спосіб (рис. 1.51).

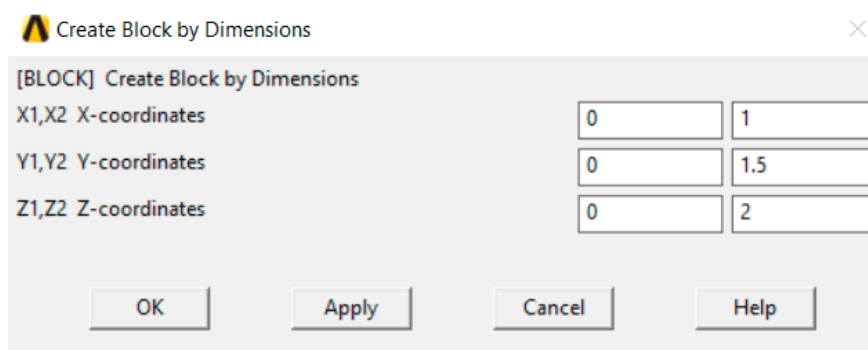


Рис. 1.51

Натиснувши **ОК**, одержимо зображення, представлене на рис. 1.52.

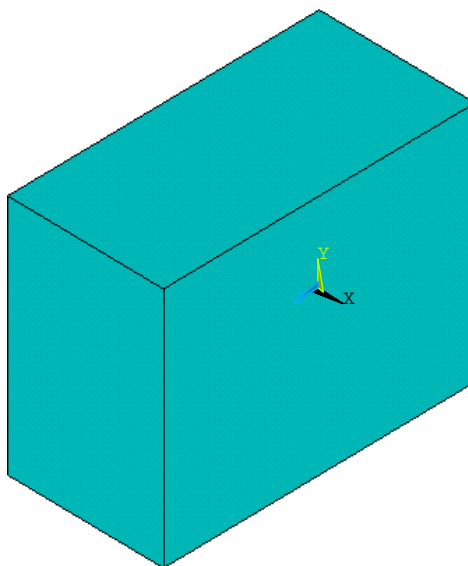


Рис. 1.52

- Побудова суцільного циліндра:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Solid Cylinder

У вікні *Solid Cylinder* вводимо наступні параметри (рис. 1.53).

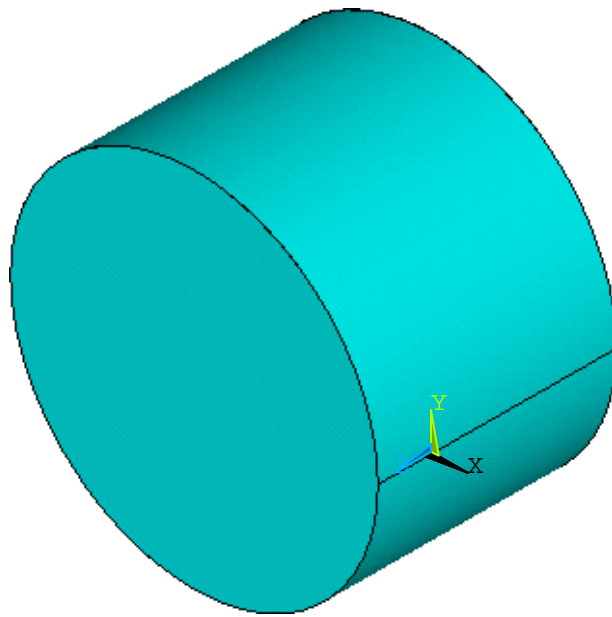
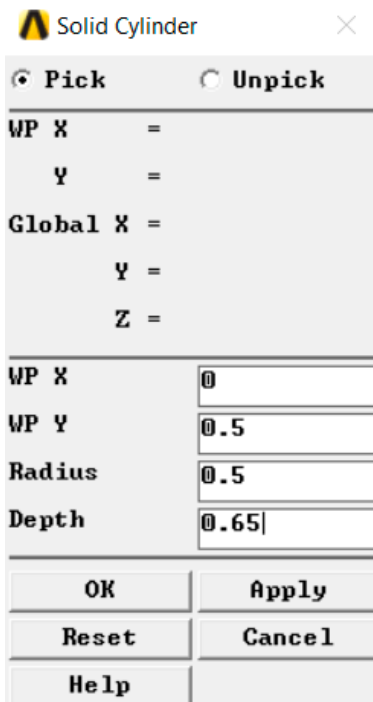


Рис. 1.53

WPX , WPY — координати центру основи циліндра в робочій площині;
 $Radius$ — радіус циліндра;
 $Depth$ — висота циліндра.

- Побудова пустотілого циліндра:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Hollow Cylinder

З появою меню вибору *Hollow Cylinder* необхідно ввести:

WPX , WPY — координати центру основи циліндра в робочій площині;
 $Rad-1$, $Rad-2$ — внутрішній і зовнішній радіуси циліндра;
 $Depth$ — висоту циліндра.

- Побудова сегмента пустотілого (або суцільного) циліндра:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Partial Cylinder

Для побудови сегмента пустотілого циліндра у вікні *Partial Cylinder* слід ввести:

WPX , WPY — координати центру основи циліндра в робочій площині;
 $Rad-1$, $Rad-2$ — внутрішній і зовнішній радіуси циліндра (для суцільного циліндра внутрішній радіус не вказується);

Depth — висота сегмента циліндра;

Theta-1, Theta-2 — кути, які відкладаються від осі *X* (позитивним є напрямком проти годинникової стрілки) і визначають положення сегменту.

- Побудова суцільного циліндра за допомогою діаметру:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > By End Pts & Z

При активації цього пункту треба вказати наступні параметри:

WP XE1, WP YE1 — координати точки, що визначає початок побудови підстави циліндра в робочій площині;

WP XE2, WP YE2 — координати точки, що визначає діаметр підстави;

Depth — висота циліндра.

- Побудова циліндрів і їх сегментів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder>By Dimension

Заповнимо вікно *Create Cylinder by Dimension* (рис. 1.54) у такий спосіб:

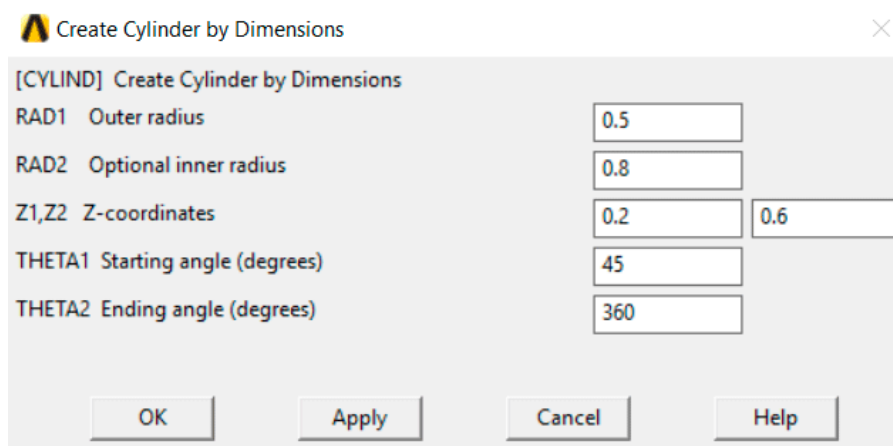


Рис. 1.54

RAD1 Outer radius — внутрішній радіус сегменту; при побудові сектору циліндра або суцільного циліндра, це поле пропускається;

RAD2 Optional inner radius — зовнішній радіус;

Z1,Z2 Z - coordinates — відстань уздовж осі *Z* від початку координат до кожної з основ циліндра;

θ_1 , θ_2 — кути, які відкладаються від осі X (позитивним є напрямком проти годинникової стрілки) і визначають положення сегменту. Після введення всіх параметрів натискаємо **ОК** (рис. 1.55).

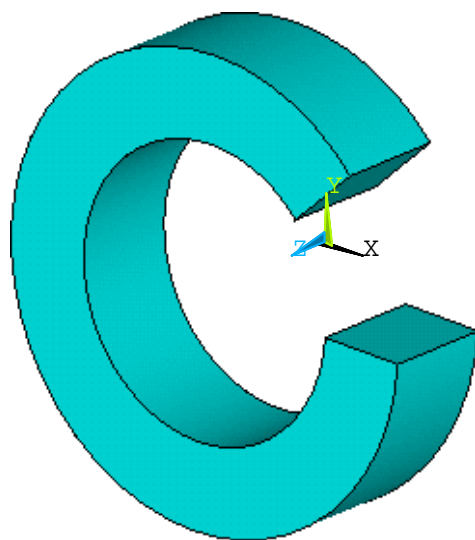


Рис. 1.55

- Побудова правильної трикутної призми.
Побудуємо призму, зображену на рис. 1.56.

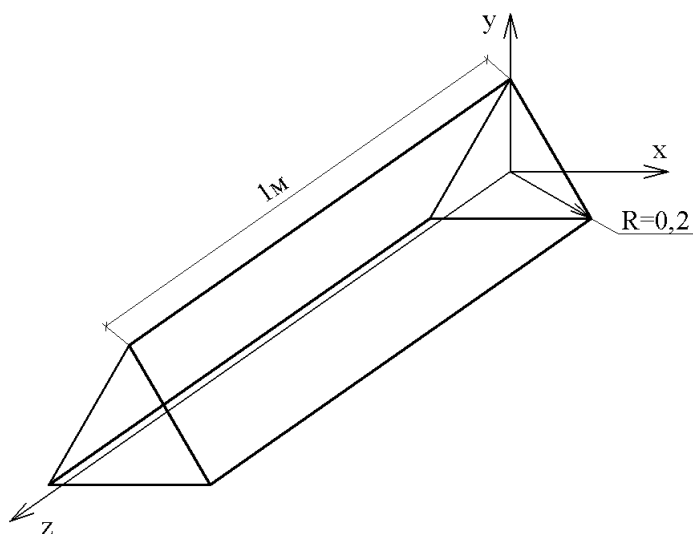


Рис. 1.56

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Prism>Triangular

При виборі даного пункту створюється призма, основа якої розташована на робочій площині і являється рівностороннім трикутником.

У вікні *Triangular Prism* необхідно ввести наступні дані:

$WP X$, $WP Y$ — координати центру основи призми в робочій площині;

Radius — радіус описаної окружності навколо основи (трикутника) призми;

Theta — кут, який дозволяє зорієнтувати основу щодо осі *X* робочої площини (позитивним вважається напрямок проти годинникової стрілки);

Depth — висота призми.

Заповнення вікна *Triangular Prism* і отриманий результат показані на рис. 1.57.

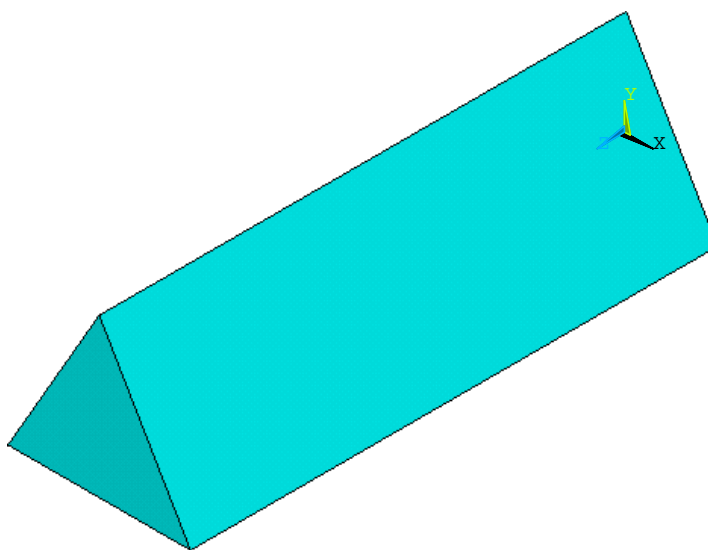
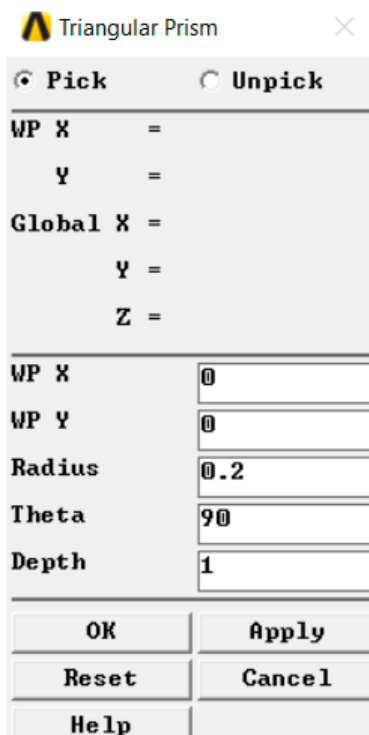


Рис. 1.57

Алгоритм роботи з наступними пунктами аналогічний вищевикладеному.

- Побудова правильної чотирикутної призми:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Square

- Побудова правильної п'ятикутної призми:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Pentagonal

- Побудова правильної шестикутної призми:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Hexagonal

- Побудова правильної семикутної призми:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Septagonal

- Побудова правильної восьмикутної призми:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Prism> Octagonal

- Побудова правильної призми уздовж осі Z поза робочою площиною. Існують 3 варіанта побудови.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > By Inscribed Rad

Вибираючи цей пункт, у вікні *Prism by Inscribed Radius* необхідно ввести: $Z1, Z2$ *Z-coordinates* — відстані уздовж осі Z від початку координат до кожної з основ призми; *NSIDES Number of sides* — кількість сторін основи призми; *MINRAD Minor (inscribed) radius* — радіус окружності, вписаної в основу призми.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > By Circumscr Rad

Порядок дій аналогічний вищевикладеному, тільки в рядку *MAJRAD Major (circumscr) radius* вводимо радіус окружності, описаної навколо основи призми.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > By Side Length

Різниця з попередніми пунктами полягає в тому, що в рядку *LSIDE Length of each side* необхідно ввести довжину сторони основи призми.

- Побудова довільної призми:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Prism>By Vertices

Після появи вікна *Prism by Vertices*, необхідно курсором «миші» на робочій площині вказати вершини основи призми. **ОК**. Потім вказати точку, яка визначає висоту призми. **ОК**.

- Побудова суцільної сфери:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > Solid Sphere

У вікні *Solid Sphere* необхідно вказати наступні параметри:

$WP X, WP Y$ — координати центру сфери на робочій площині;

Radius — радіус сфери.

- Побудова пустотілої сфери:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volume > Sphere > Hollow Sphere

У вікні *Hollow Sphere* необхідно вказати:

WP X, *WP Y* — координати центру сфери на робочій площині;

Rad-1 — внутрішній радіус сфери;

Rad-2 — зовнішній радіус сфери.

- Побудова суцільної сфери за допомогою діаметру:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > By End Points

У полях вікна *Sphere by End Points* необхідно вказати:

WP XE1, *WP YE1* — координати точки, що визначає початок сфери в робочій площині;

WP XE2, *WP YE2* — координати точки в робочій площині, що визначає діаметр сфери.

- Побудова сфери, сферичного сегмента із центром на початку координат робочої площини:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > By Dimensions

При виконанні даного пункту, у вікні *Create Sphere by Dimensions* вводимо наступні параметри (рис. 1.58). Потім натискаємо **ОК** (рис. 1.59).

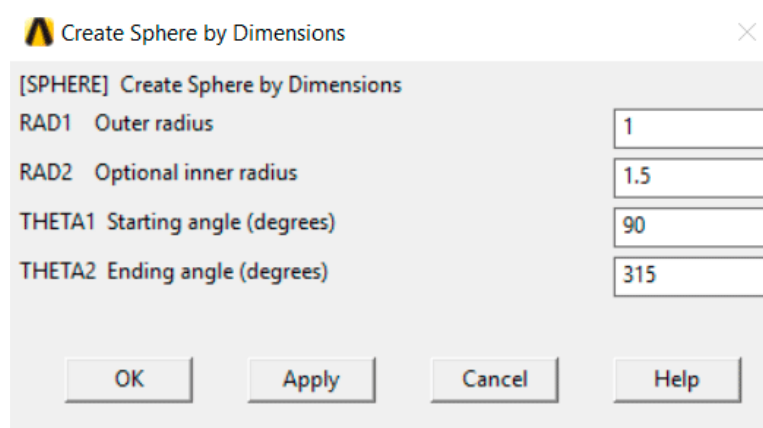


Рис. 1.58

RAD 1 Outer radius — внутрішній радіус сфери;

RAD 2 Optional inner radius — зовнішній радіус сфери;

THETA1, THETA2 — кути, які відкладаються від осі *X* (позитивним є напрямком проти годинникової стрілки), і визначають положення сферичного сегменту.

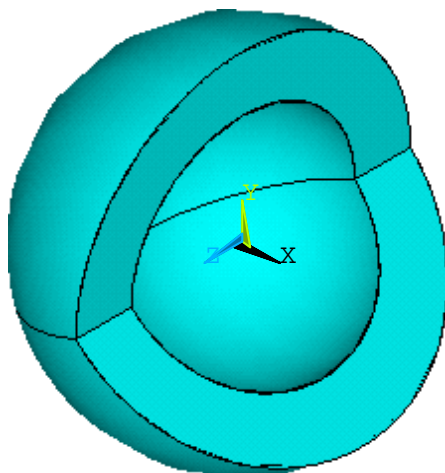


Рис. 1.59

- Побудова конуса (усіченого конуса):

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volume>Cone>By Picking

У вікні вибору *Cone by Picking* необхідно ввести наступні параметри:

WP X, WP Y — координати центру основи конуса в робочій площині;

Rad-1, Rad-2 — радіуси верхньої й нижньої основ усіченого конуса (якщо величина одного з радіусів дорівнює нулеві, то буде побудований конус);

Depth — висота конуса (усіченого конуса).

- Побудова конуса (усіченого конуса), конусного сегмента уздовж осі *Z* поза робочою площиною:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volume > Cone > By Dimensions

У вікні *Create Cone by Dimensions* (рис. 1.60) вводимо наступні параметри:

RBOT, RTOP — радіуси верхньої й нижньої основ конуса;

Z1, Z2 Z-coordinates — відстані уздовж осі *Z* від початку координат до кожної з основ конуса. Причому, у координаті *Z1* буде розташовуватися

центр основи з радіусом R_{BOT} , а в координаті Z_2 — центр основи з радіусом R_{TOP} ;

$THETA\ 1$, $THETA\ 2$ — кути, які відкладаються від осі X у робочій площині (позитивним є напрямком проти годинникової стрілки) і визначають положення конусного сегмента.

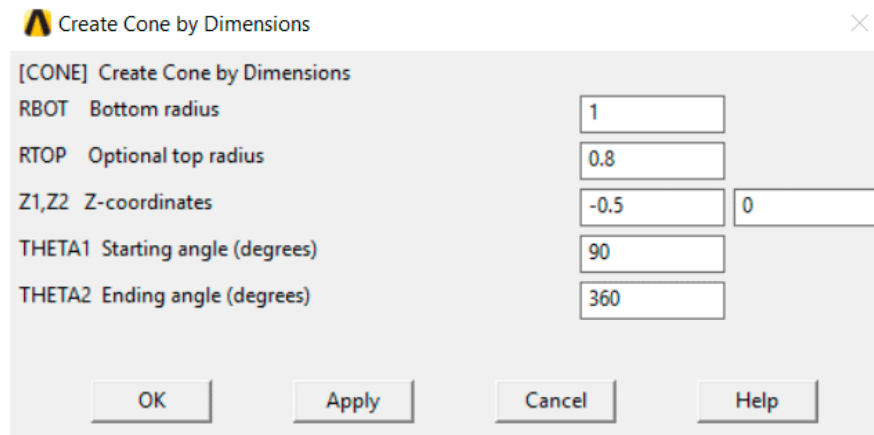


Рис. 1.60

Результат побудови представлений на рис. 1.61.

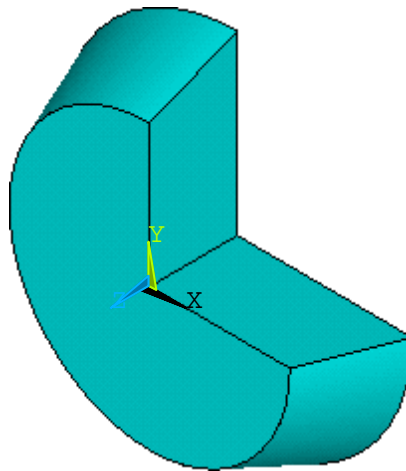


Рис. 1.61

- Побудова тороїдальної трубки:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Torus

При використанні цього пункту необхідно ввести наступне:

$RAD1$, $RAD\ 2$ — зовнішній і внутрішній радіус перерізу тора;

$RADMAJ$ *Major radius of torus* — відстань між початком системи координат робочої площини й віссю тора;

$THETA1$, $THETA2$ — кути, які відкладаються від осі X у робочій площині (позитивним є напрямом проти годинникової стрілки) і визначають положення тороїдального сектору. Починається побудова сектору від кута $THETA 1$ і закінчується кутом $THETA 2$.

Наприклад, заповнимо вікно в такий спосіб (рис. 1.62).

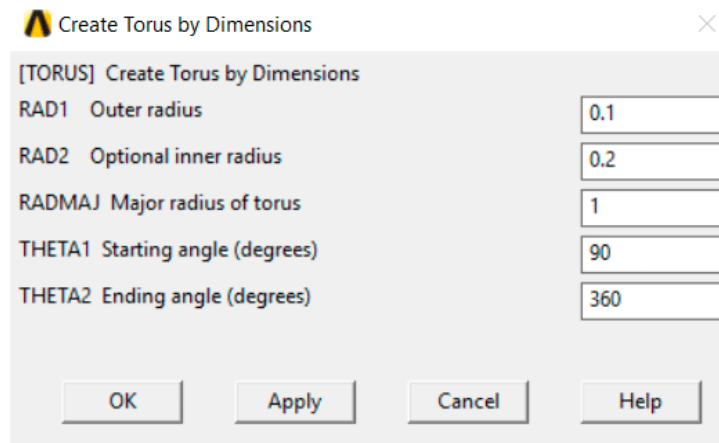


Рис. 1.62

Після введення всіх необхідних параметрів натискаємо **ОК**. Результат побудови показаний на рис. 1.63.

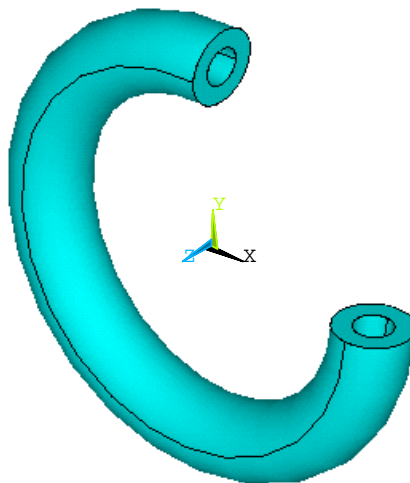


Рис. 1.63

1.3. Операції з об'єктами


1.3.1. Моделювання з використанням операції екструзії

- Видавлювання об'єму із площини уздовж нормалі.

Відкриємо раніше збережений файл Lines2.db і побудуємо площину:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>By Lines

Курсором виділяємо всі лінії й натискаємо **OK**.

Зобразимо модель в ізометричній проекції. Для цього в правім полі графічного вікна натискаємо кнопку .

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > Along Normal

З появою вікна *Extrude Area by Norm* виділяємо площину, з якої «видавлюється» об'єм. **OK**. У вікні *Extrude Area along Normal* (рис. 1.63) вводимо наступні параметри:

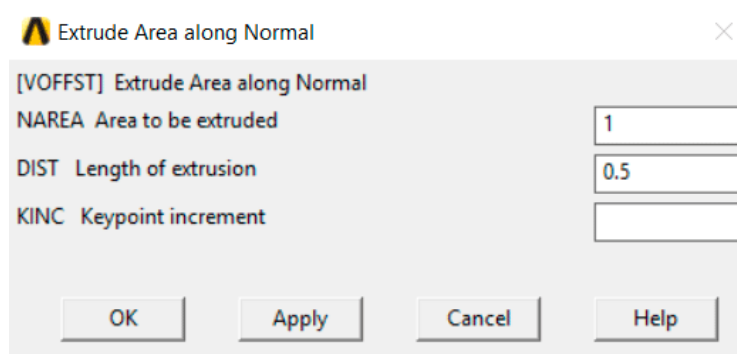


Рис. 1.63

NAREA to be extruded — номер поверхні, яка використовується для побудови об'єму (встановлюється програмою автоматично);

DIST Length of extrusion — відстань уздовж нормалі, яка визначає довжину створюваного об'єму.

Потім натискаємо **OK** (рис. 1.64).

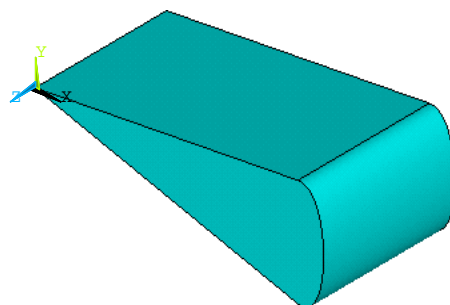


Рис. 1.64

- «Видавлювання» об'єму із площини з використанням коефіцієнтів масштабування:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > By XYZ Offset

З появою вікна *Extrude Areas by Offset* необхідно виділити площину (рис. 1.65), використовувану для побудови об'єму. **OK**.

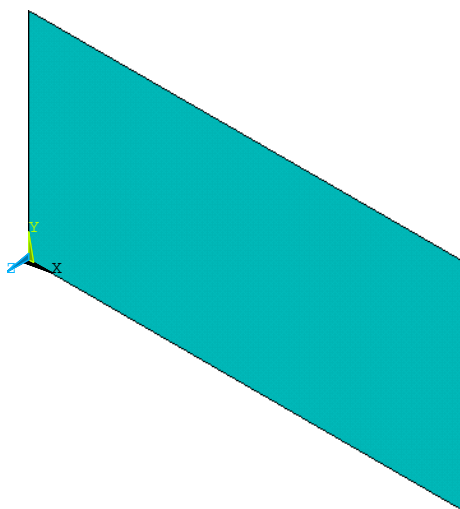


Рис. 1.65

Вікно *Extrude Areas by XYZ Offset* (рис. 1.66) дозволяє побудувати об'єм шляхом зсуву заданої площини уздовж осей на DX , DY , DZ одиниць і зміни її коефіцієнтів масштабування в RX , RY , RZ разів.

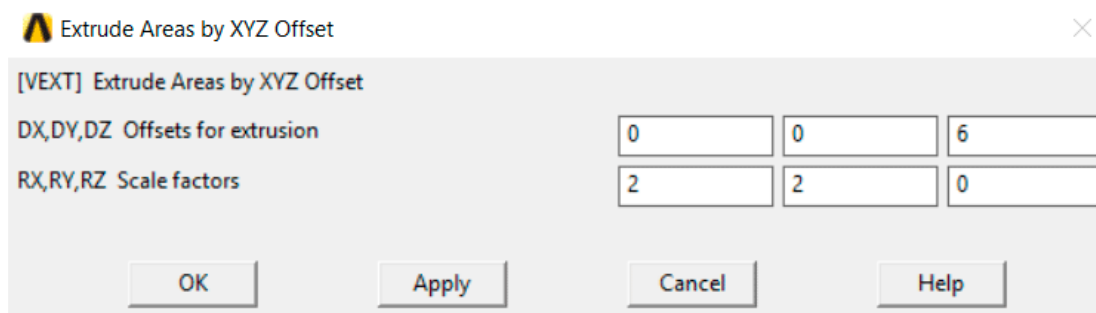


Рис. 1.66

Якщо вихідна площина збігається з однією з координатних площин або паралельна їй, то коефіцієнт масштабування задається тільки в напрямках двох відповідних осей; при довільнім положенні вихідної площини можливе завдання всіх трьох коефіцієнтів масштабування.

Наприклад, якщо вихідна площина лежить у площині XOY , то не задається RZ .

Вихідна площина протягнена на 6 одиниць уздовж осі Z , а її габаритні розміри збільшені в 2 рази уздовж осей X та Y (рис. 1.67).

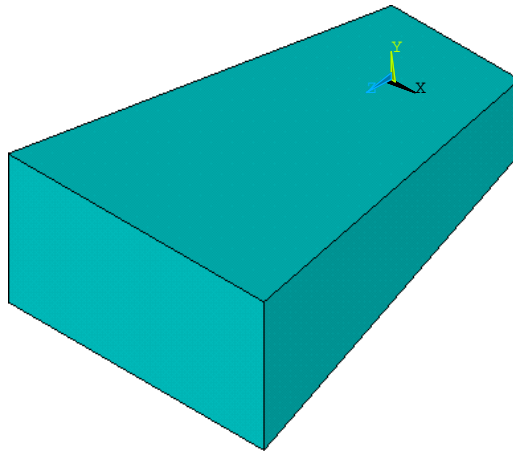


Рис. 1.67

- Побудова об'єму за допомогою обертання площини:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Extrude>Areas>About Axis

Використовуючи даний пункт меню, курсором миші виділяємо площину, з якої буде побудований об'єм. **OK**. Потім виділяємо дві ключові точки, які визначають вісь обертання площини. **OK**. У діалогові вікні *Sweep Areas about Axis* у рядку *ARC Arc length in degrees* вводимо кут, на який необхідно повернути площину: 270. У рядку *NSEG No, of volume segments* — кількість сегментів об'єму (за замовчуванням кількість сегментів дорівнює чотирьом): 2.

Нижче представлена вихідна модель (рис. 1.68) і результат обертання поверхні навколо осі, зазначеної точками 7 і 2 (рис. 1.69).

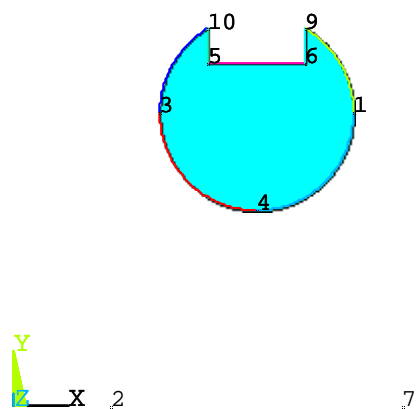


Рис. 1.68

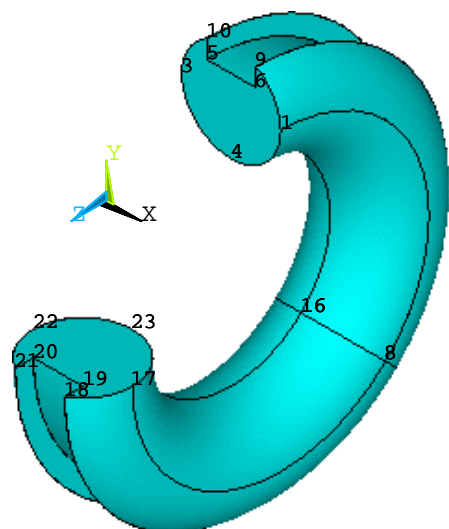


Рис. 1.69

Аналогічним образом можна створити поверхні за допомогою ліній (рис. 1.70), використовуючи маршрут:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Extrude>Lines>About Axis

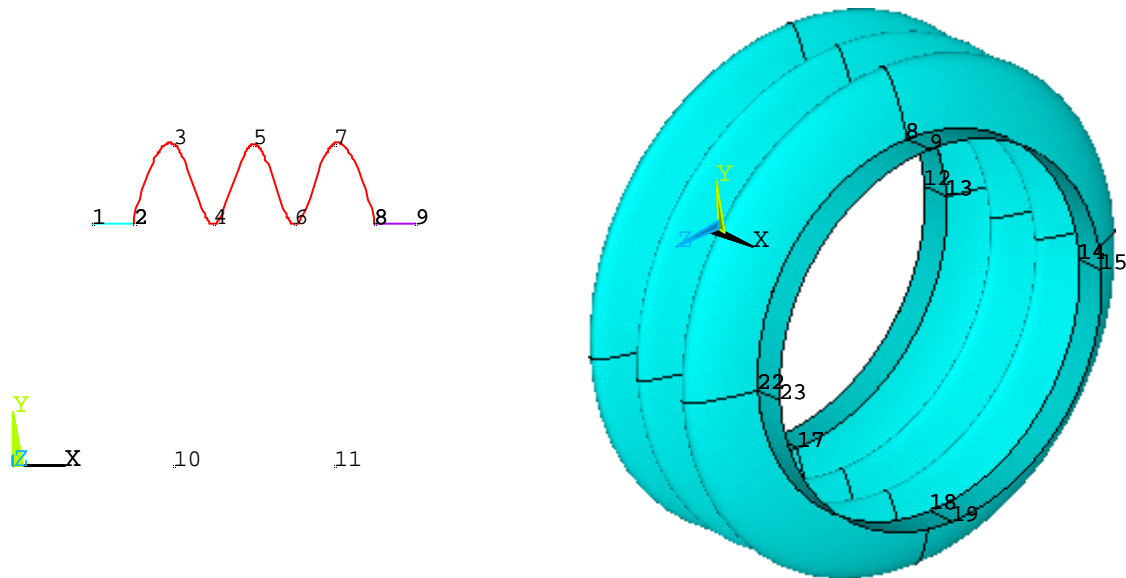


Рис. 1.70

У такий же спосіб створюються лінії за допомогою ключових точок (рис. 1.71):

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Keypoints > About Axis

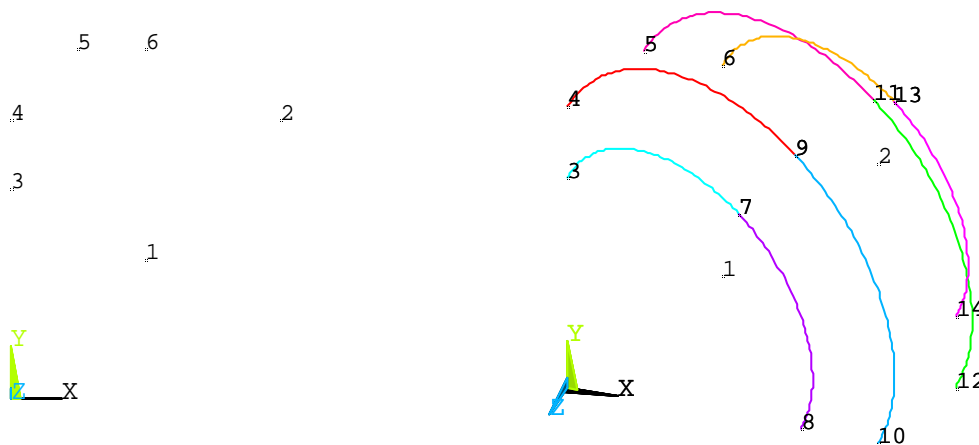


Рис. 1.71

- “Видавлювання” об’єму з поверхні уздовж лінії:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > Along Lines

При відкритті вікна *Sweep Areas along Lines* слід виділити площину, з якої створюється об'єм. **ОК**. Потім — лінію, уздовж якої простягається площина. **ОК**. На рис. 1.72 показана вихідна модель і результат побудови.

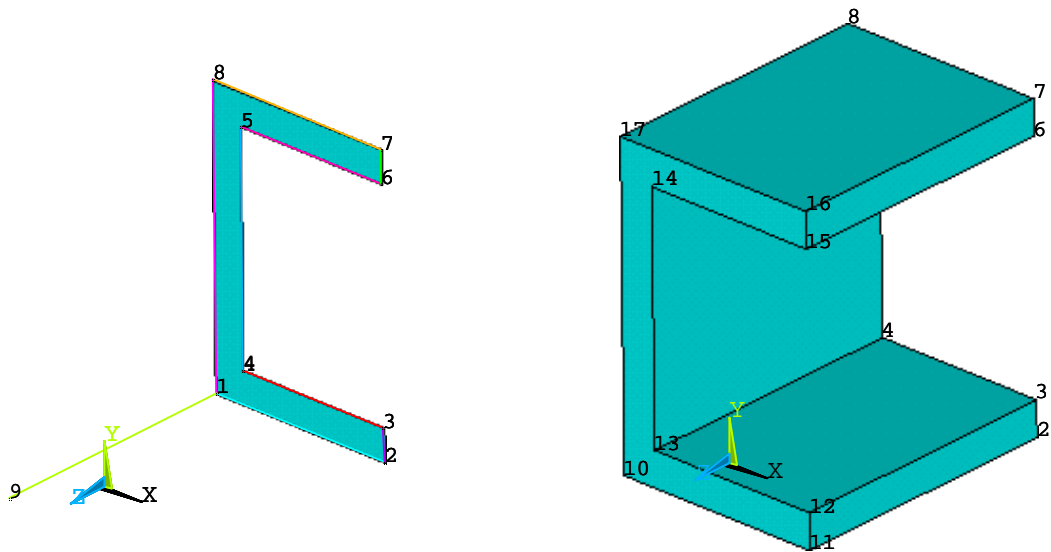


Рис. 1.72

Аналогічним образом можна створити поверхні за допомогою ліній (рис. 1.73), використовуючи маршрут:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Lines > Along Lines

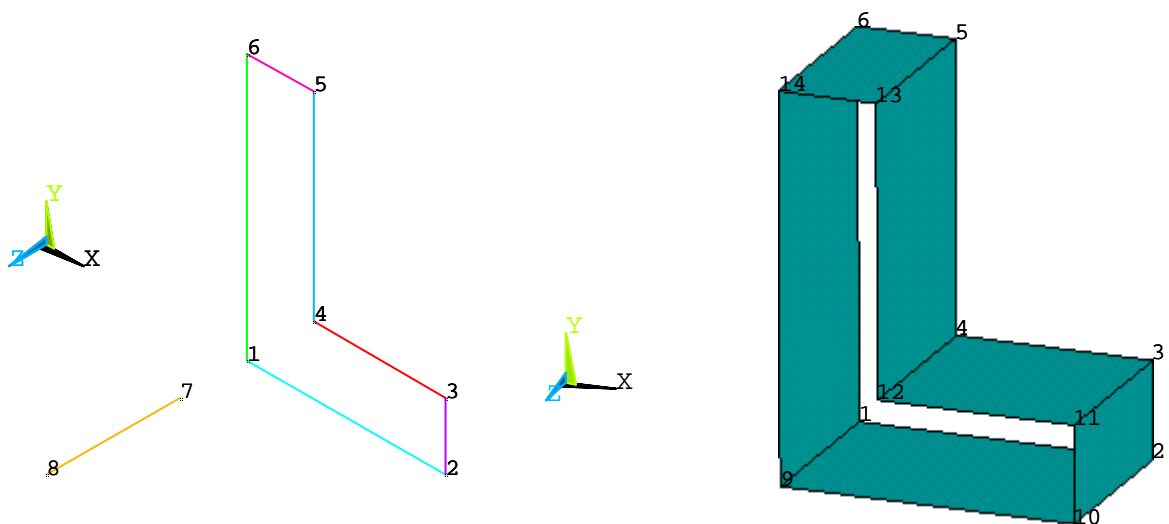


Рис. 1.73

або створити лінію за допомогою ключових точок (рис. 1.74):

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Keypoints > Along Lines

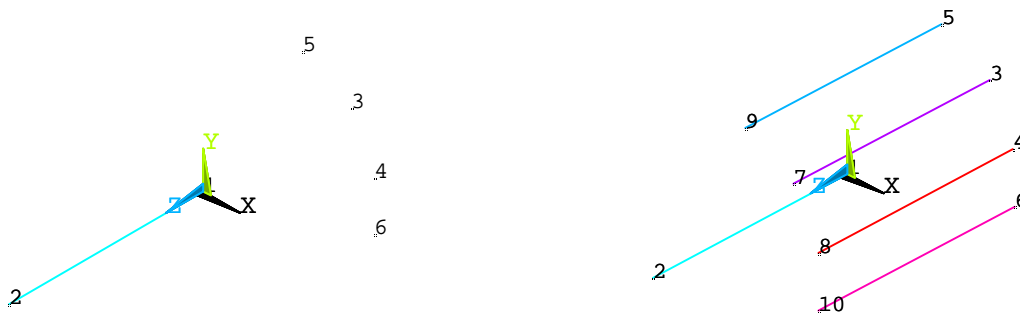


Рис. 1.74

- Побудова лінії шляхом подовження існуючої лінії:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Extend line

При відкритті вікна *Extend Lines* вибрати лінію, яку необхідно подовжити. **ОК**. Потім вибрати основну точку, від якої буде здійснюватися подовження існуючої лінії. **ОК**.

У вікні *Extend Lines* два перші рядки заповнюються автоматично, указуючи номери виділеної лінії й точки. У рядку *DIST Distance to extend* вказується, на яку величину потрібно подовжити вихідну лінію. У рядку *KEEP Existing line will* можна вибрати варіант, при якому буде побудована нова лінія без збереження вихідної (*Be modified*), або варіант, при якому зберігаються вихідна й модифікована лінії (*Not be modified*).

1.3.2. Моделювання за допомогою булевих операцій

Дуже зручним інструментом є використання булевих операцій перетинання, вирахування і т.д. при роботі з геометричними об'єктами високого порядку. Це можливо як при побудові моделі “знизу-вверх”, так і “зверху-вниз”. При виконанні булевої операції можна зберігати або не зберігати вихідний об'єкт.

Для звертання до опцій булевих операцій використовується пункт меню:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Settings

У вікні *Boolean Operation Settings* можна встановити такі опції:

KEEP Keep input entities — відповідає за збереження вихідного об'єкта (мітка *Yes*), або його видалення (мітка *No*);

NWARN If operation has no effect — дозволяє управляти процесом видачі попереджувачих повідомлень. Значення *Give warning msg* відповідає видачі попередження у випадку, якщо булева операція не виконується. Значення *No messages* дозволяє всі попередження або повідомлення про помилки при невиконанні булевої операції. *Give error msg* — дозволяє видачу повідомлень про помилки;

VERS Numbering compatible with — використовується для контролю над схемою нумерації об'єктів, створених булевими операціями;

PTOL Point coincidence toler — точність збігу після проведення булевої операції (точки, відстані між якими менше зазначеної величини, слід вважати співпадаючими).

Перетинання об'єктів. Результатом процедури перетинання є область перекриття двох або більш об'єктів.

Новий набір може мати просторову розмірність вихідних об'єктів або на порядок менше. Наприклад, результатом перетинання двох ліній може бути точка (безліч точок) або лінія (безліч ліній).

- Перетинання об'єктів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Common > Volumes

З появою меню *Intersect Volumes (Commo...)* слід виділити об'єми, об'єкт перетинання яких необхідно знайти. **ОК.** Можливі два результати перетинання об'єктів — площина (рис. 1.75) і новий об'єм (рис. 1.76).

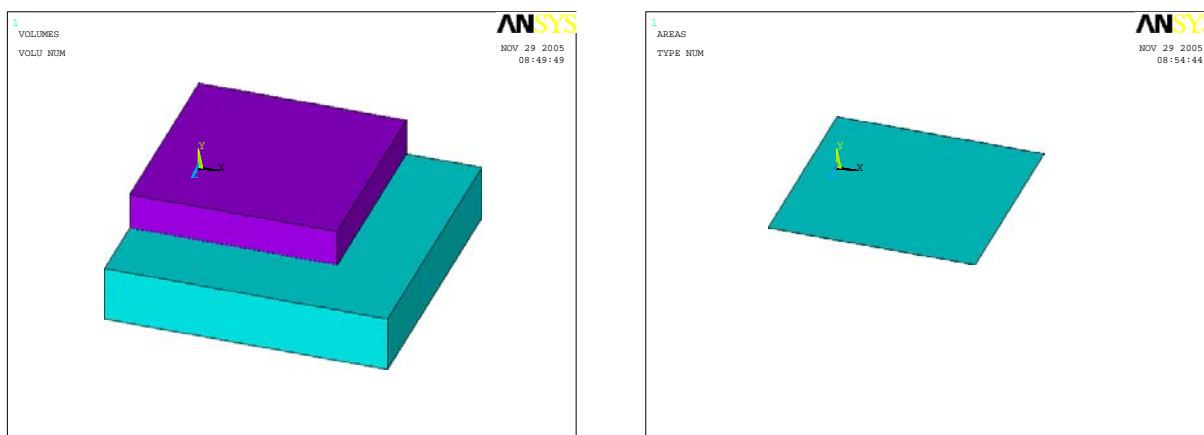


Рис. 1.75

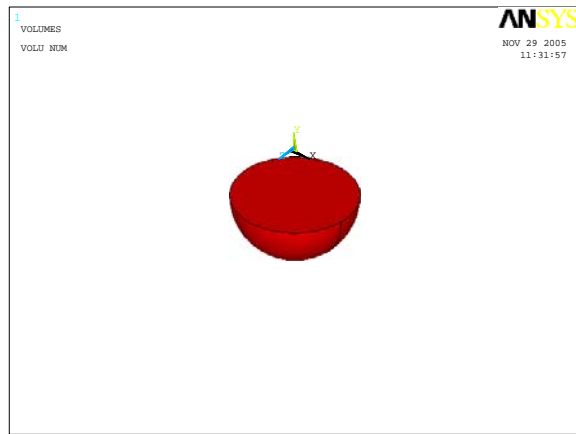
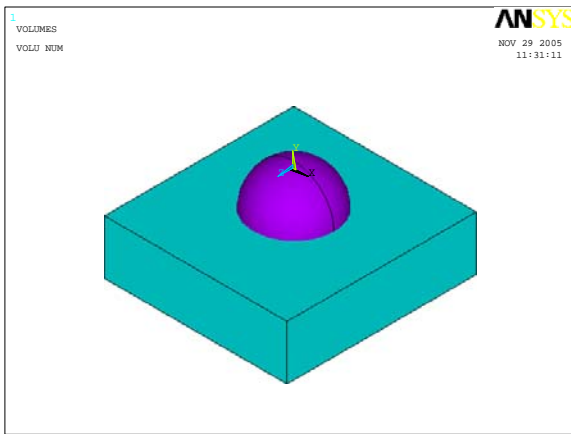


Рис. 1.76

- Перетинання поверхонь:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Common > Areas

Порядок дій аналогічний викладеному вище. Результат перетинання поверхонь — лінія (рис. 1.77) або площина (рис. 1.78).

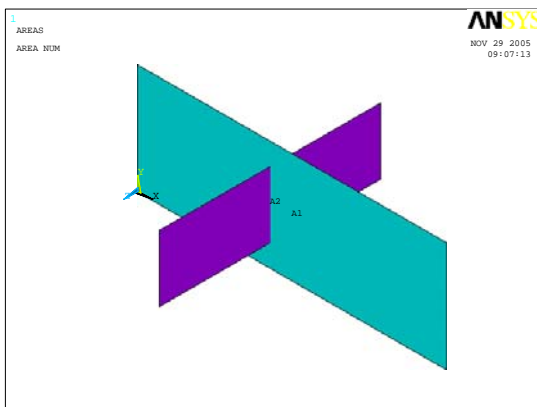


Рис. 1.77

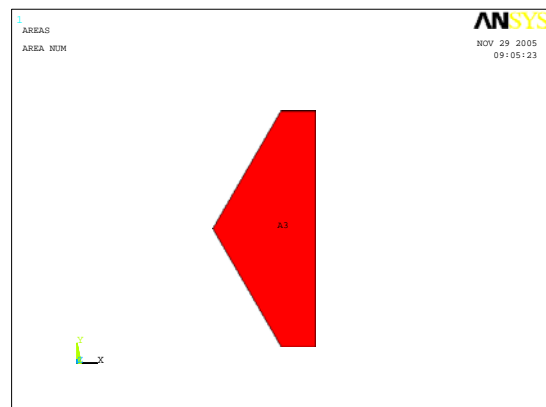
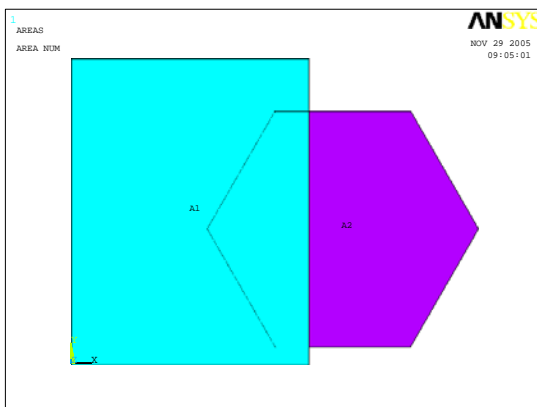


Рис. 1.78

- Перетинання ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Common > Lines

Результатом перетинання ліній може бути точка (декілька точок) (рис. 1.79) або лінія (декілька ліній) (рис. 1.80).



Рис. 1.79

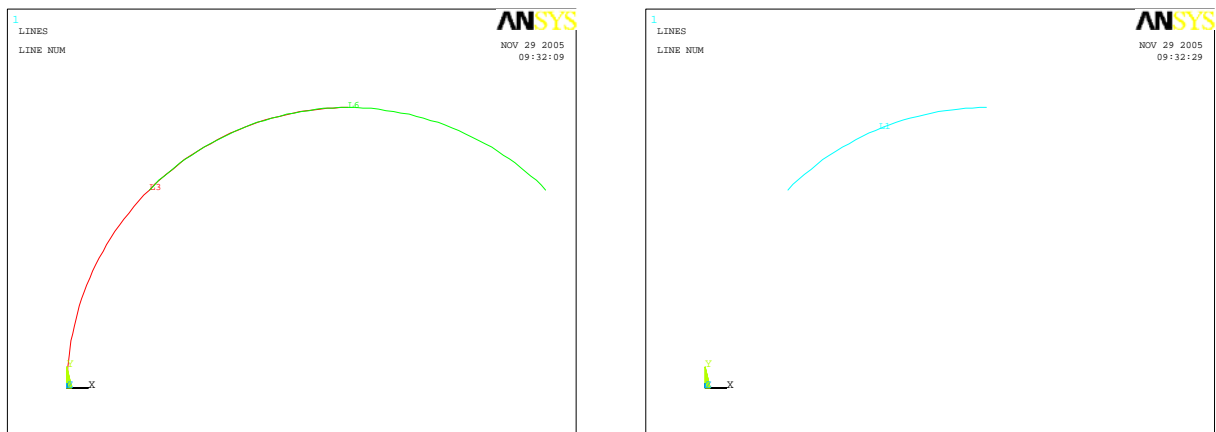


Рис. 1.80

- Перетинання площини з об'ємом:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Area with Volume

З появою вікна *Intersect Area w/Volu* необхідно вибрати площину. **ОК**. Потім вибрати об'єм. **ОК**. Результатом перетинання є площина (рис. 1.81).

- Перетинання лінії з об'ємом:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Line with Volume

При відкритті вікна *Intersect Line w/Volu* виділити лінію, яка перетинає об'єм. **ОК.** Потім виділити об'єм. **ОК.** У результаті побудови залишиться та частина лінії, яка перебуває усередині об'єму.

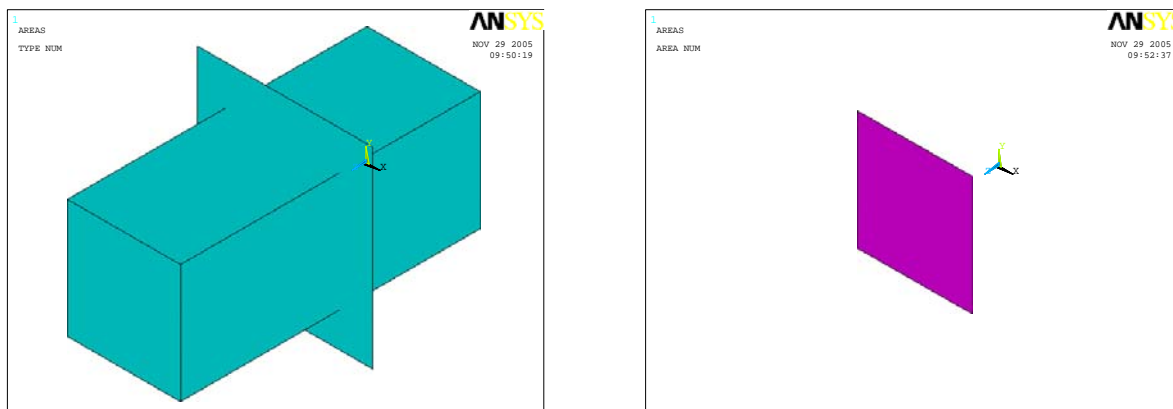


Рис. 1.81

- Перетинання лінії з поверхнею:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Line with Area

При перетинанні площини паралельною їй лінією, результатом перетинання буде лінія, результатом перетинання площини з непаралельною їй лінією буде точка їх перетинання.

- Попарне перетинання об'ємів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Pairwise > Volumes

При відкритті вікна *Intersect Volumes (Pairwise)* виділити об'єми, область перетинання яких необхідно побудувати. Результатом перетинання можуть бути поверхні (рис. 1.82) або об'єми (рис. 1.83).

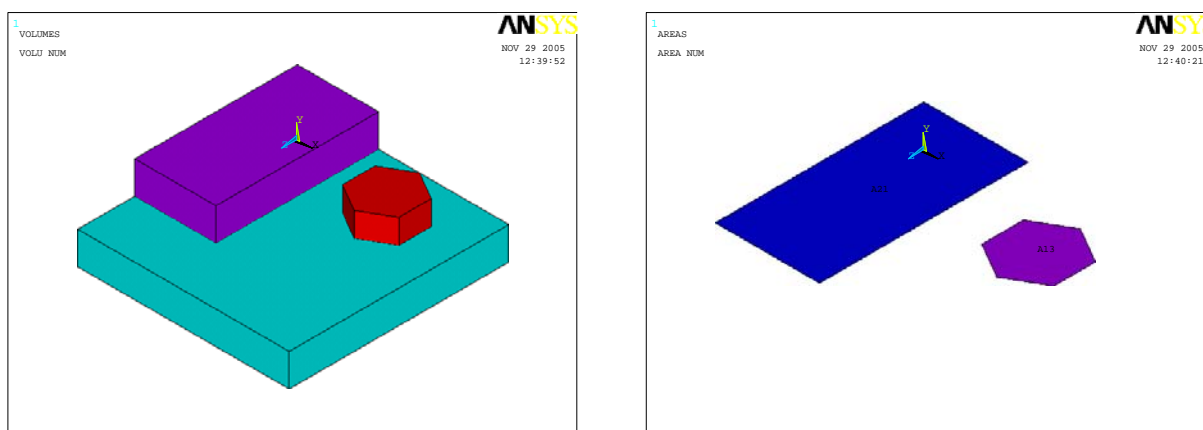


Рис. 1.82

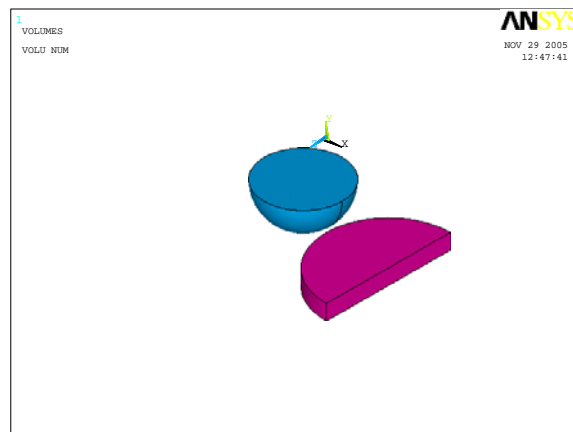
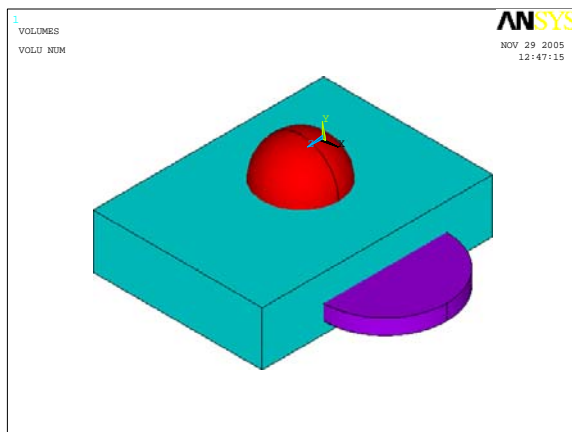


Рис. 1.83

- Попарне перетинання поверхонь:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Pairwise > Areas

Результатом перетинання може бути безліч ліній (рис. 1.84) або поверхонь (рис. 1.85).

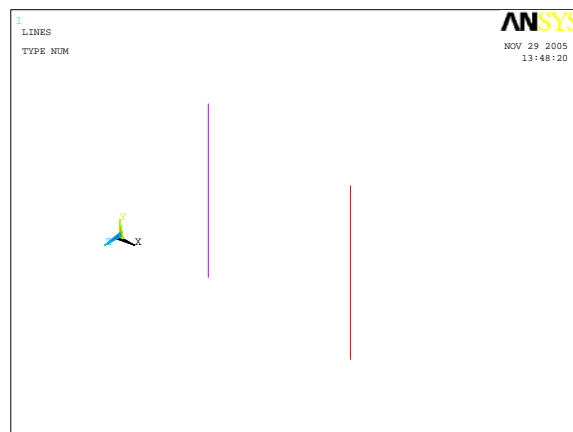
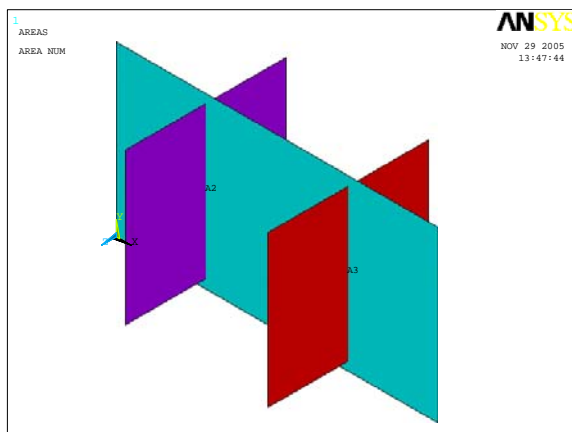


Рис. 1.84

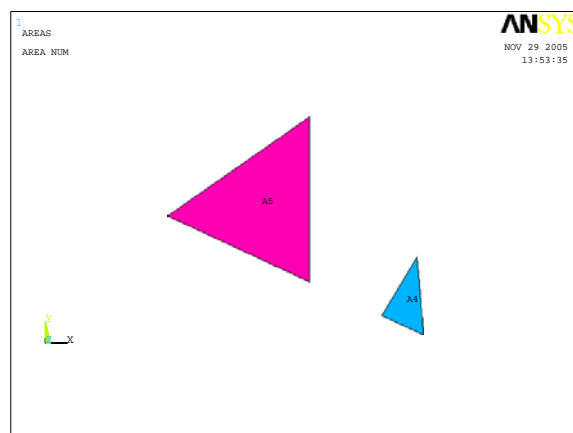
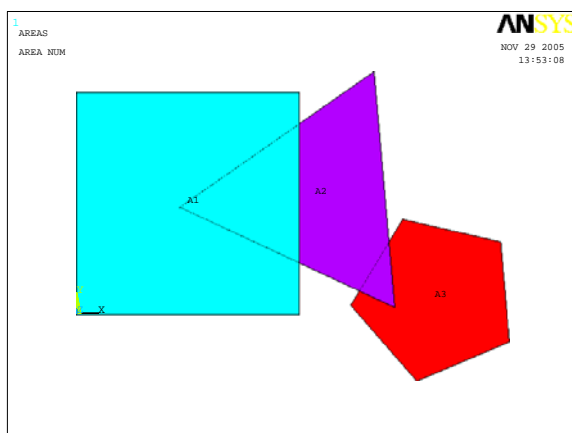


Рис. 1.85

- Парне перетинання ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Intersect > Pairwise > Lines

Результатом перетинання буде сімейство точок або ліній.

Підсумовування об'єктів.

Процес підсумовування об'єктів визначає новий об'єкт, у який входять усі частини вихідних об'єктів. Результуючий об'єкт являє собою єдине ціле, що не містить внутрішніх розподілів.

- Підсумовування об'ємів (рис. 1.86):

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Add>Volumes

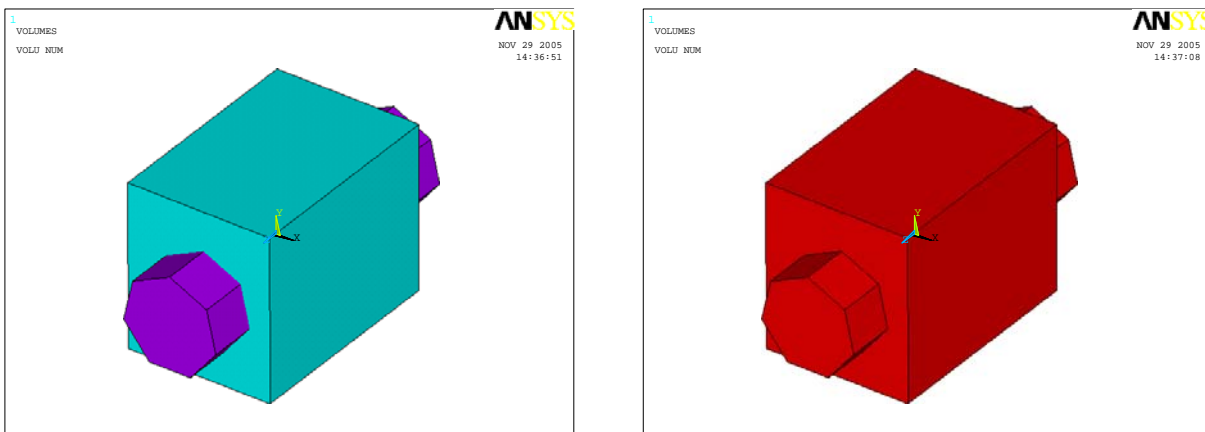


Рис. 1.86

- Підсумовування поверхонь (рис. 1.87):

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate > Booleans > Add > Areas

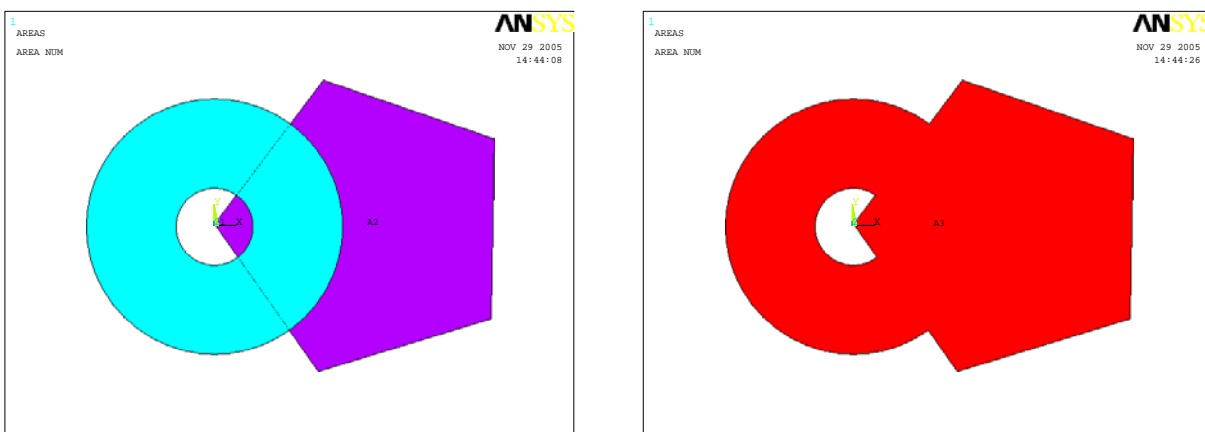


Рис. 1.87

- Підсумовування ліній:

Main Menu>Preprocessor>Modeling > Operate > Booleans > Add > Lines

Вирахування об'єктів.

- Вирахування об'єму з об'єму:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Volumes

При відкритті вікна *Subtract Volumes* вибрати об'єм, з якого проводиться вирахування, **OK**. Потім вибрати об'єм, який віднімається. **OK** (рис. 1.88).

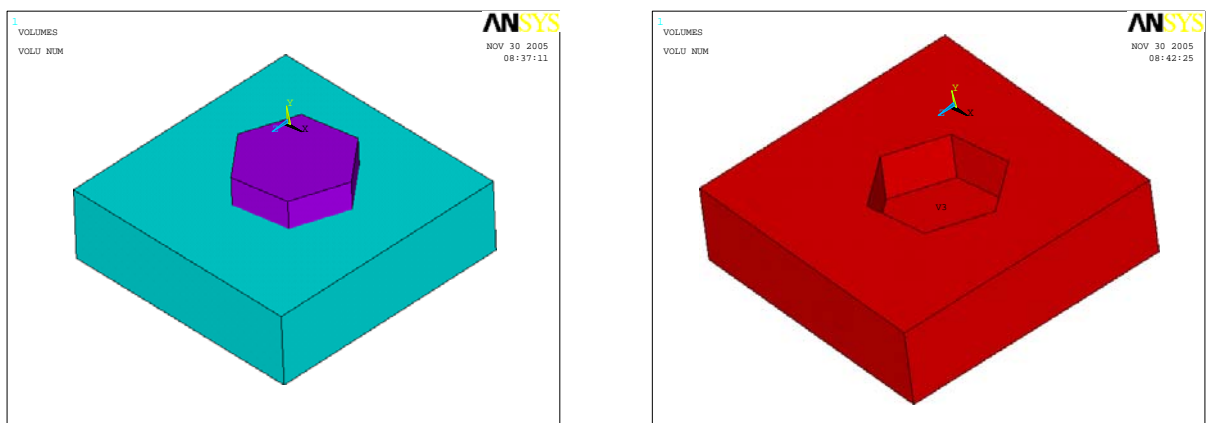


Рис. 1.88

Аналогічно можна вирахувати площину із площини:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Subtract>Areas

і лінію з лінії:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Subtract>Lines

При використанні пункту меню

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > With Options

після вибору об'єктів з'являється вікно, у якому можна вибрати наступні опції:

SEPO →

shared entities — при виконанні операції створені об'єкти будуть мати загальні границі;

separate entity — при виконанні операції створені об'єкти будуть мати різні границі.

KEEP 1 →

kept — зберегти об'єкт, з якого проводиться вирахування;

deleted — вилучити об'єкт, з якого проводиться вирахування.

KEEP 2 →

kept — зберегти об'єкт, що віднімається;

deleted — вилучити об'єкт, що віднімається.

- Вирахування поверхні з об'єму:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Volume by Area

З появою вікна *Divide Volu by Area* виділити об'єм, **ОК**, потім виділити поверхню, що віднімається, **ОК** (рис. 1.89).

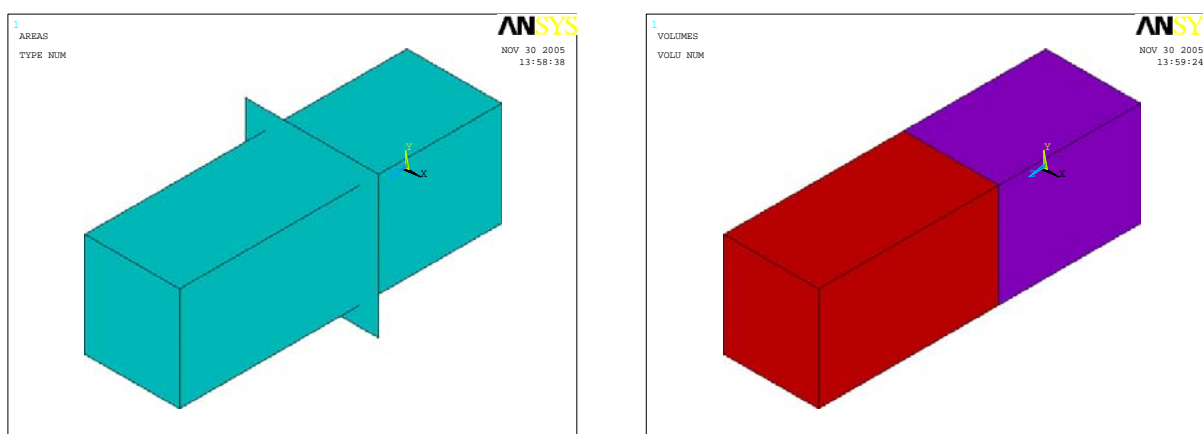


Рис. 1.89

- Вирахування робочої площини з об'єму:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Volu by Wrkplane

- Вирахування об'єму із площини (рис. 1.90):

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Area by Volume

- Вирахування робочої площини з поверхні:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Area by Wrkplane

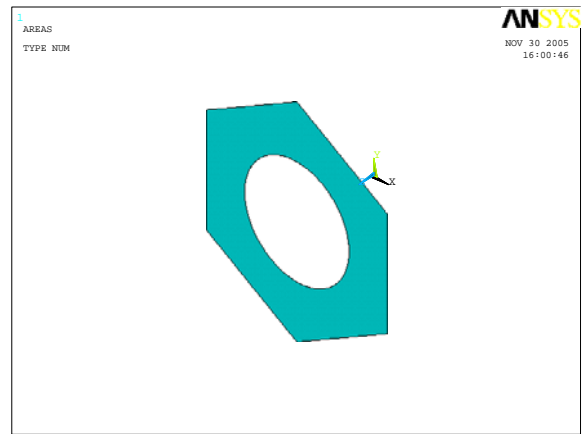
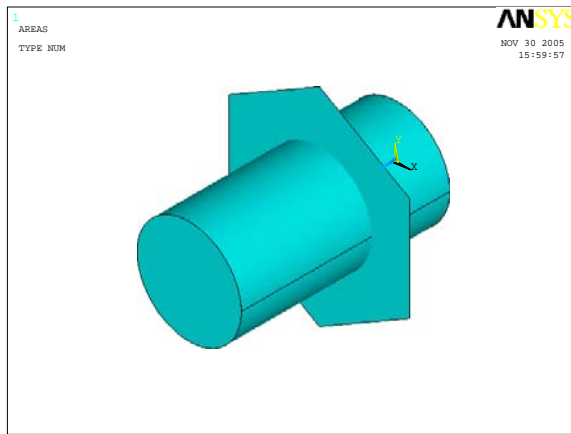


Рис. 1.90

- Вирахування лінії із площини:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Area by Line

- Вирахування об'єму з лінії:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Line by Volume

- Вирахування робочої площини з лінії:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Divide > Line by Wrkplane

Склеювання об'єктів.

Процедура “склеювання” можлива тільки в тому випадку, якщо перетинання об'єктів відбувається по деякій границі. У результаті “склеювання” точки, лінії, площини перетинання стають загальними для тих об'єктів, що “склеюються”.

- “Склеювання” об'ємів:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volumes

- “Склеювання” площин:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas

- “Склеювання” ліній:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Lines

Накладення об'єктів.

- Накладення областей (рис. 1.91):

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Overlap>Areas

- Накладення об'ємів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Overlap > Volumes

- Накладення ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Overlap > Lines



Рис. 1.91

1.3.3. Операції переміщення

- Переміщення ключових точок шляхом зміни координат:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Move/Modify>Keypoints>Set of Kps

За допомогою цього пункту можна змінювати координати точки. При відкритті вікна *Move Set of Keypoints* необхідно вибрати ключову точку або групу точок, **ОК**. У вікні *Move Set of Keypoints* у полях *X*, *Y*, *Z* задати нові координати точки (точок). Якщо необхідно змінити одну або дві координати, то заповнюються відповідні до цих координат поля. Поле, де координата не змінюється, залишається порожнім.

Можливе переміщення точок, приналежних об'єктам. У результаті такого переміщення зміниться геометрія об'єкта.

Розглянемо *приклад*.

Побудуємо паралелепіпед:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By Dimensions

У вікні *Create Block By dimensions* (рис. 1.92) вводимо координати протилежних вершин паралелепіпеда. Потім натискаємо **ОК**.

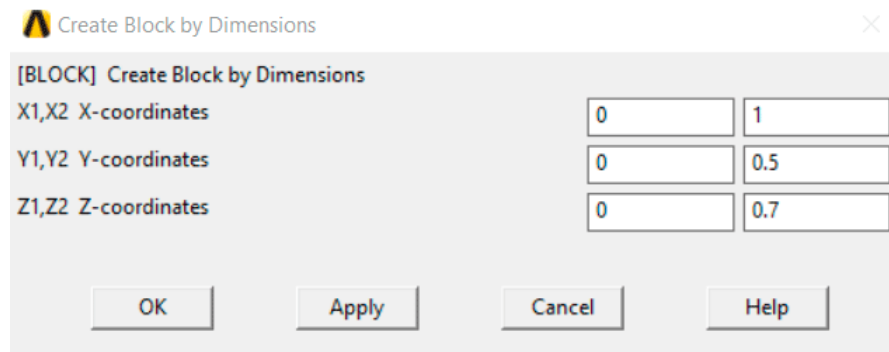


Рис. 1.92

Перемістимо дві точки:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Move/Modify>Keypoints>Set of Kps

Курсором миші виділяємо точки 5 і 6 (необхідно пронумерувати точки), **ОК**. У діалогові вікні *Move Set of Keypoints* (рис. 1.93) у поле Z вводимо: 1, **ОК**.

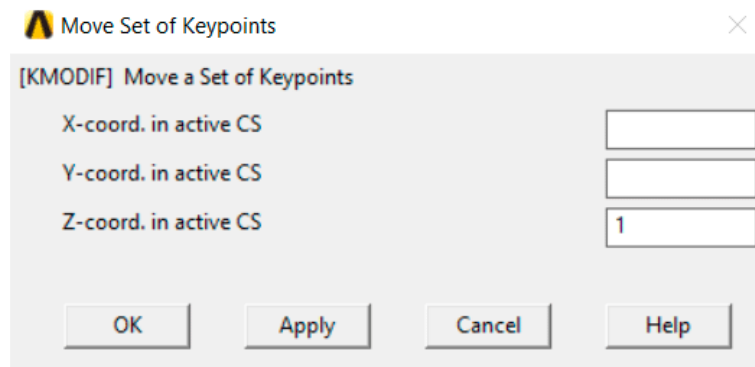


Рис. 1.93

При зміні координати змінюється геометрія моделі, тому програма попереджає про це у вікні *Verity*. Закриваємо вікно натисканням кнопки *Yes*.

Нижче (на рис. 1.94) показаний вихідний і кінцевий стан моделі.

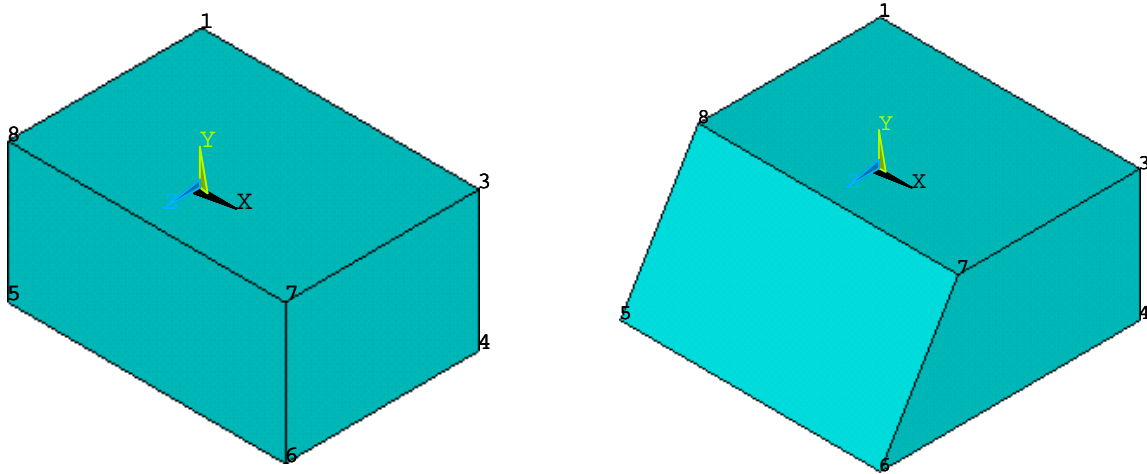


Рис. 1.94

- Переміщення ключових точок у зазначене місце:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Move/Modify > Keypoints > Single KP

Використовуючи цей пункт, можна перемістити одну точку в зазначене місце. Для цього необхідно виділити переміщувану точку, **OK**. Потім курсором миші вказати місце, у яке переміщається точка, або ввести нові координати в командному рядку вікна, що відкривається, розділяючи їх комами.

- Переміщення ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Move/Modify > Lines

При відкритті вікна *Move Lines* виділяємо переміщувані лінії, **OK**. У вікні *Move Lines* у полях DX , DY , DZ вводимо відстані уздовж осей X , Y , Z , на які необхідно перемістити лінії.

- Переміщення поверхонь:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Move/Modify > Areas > Areas

Необхідно виділити переміщувану поверхню, **OK**. У вікні *Move Areas* у полях DX , DY , DZ ввести відстані уздовж осей, на які переміщається поверхня.

- Переміщення об'ємів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Move/Modify > Volumes

Порядок дії аналогічний зазначеному вище.

1.3.4. Копіювання об'єктів

Повторюваний фрагмент моделі в ANSYS досить побудувати один раз, а потім його можна копіювати стільки раз, скільки необхідно для створення всієї моделі.

- Копіювання ключових точок:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoints

При відкритті вікна *Copy Keypoints* вибрати точки, **ОК**. У діалогові вікні *Copy Keypoints* у полі *ITIME* ввести кількість копій. У полях *DX*, *DY*, *DZ* вказати відстані уздовж осей *X*, *Y*, *Z* активної системи координат, на яких необхідно створити нові точки. У меню *NOELEM Items to be copied* можна вибрати наступні пункти:

Keypoints & mesh — створити на копіях скінченно-елементну сітку, аналогічну прототипу;

Keypoints only — у результаті копіювання будуть створені тільки точки.

- Копіювання ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Lines

Наприклад, для того щоб скопіювати лінії окружності (рис. 1.95), необхідно у вікні *Copy Lines* ввести наступне: *ITIME: 3; DX: 1; DY: 1*.

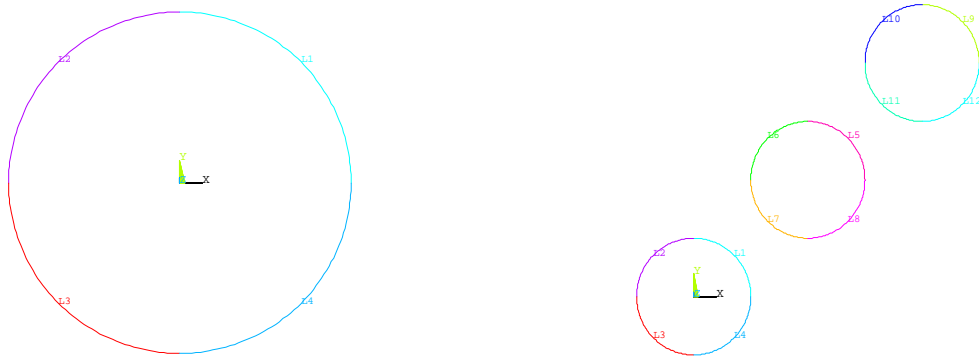


Рис. 1.95

- Копіювання поверхонь.

Зробимо операцію копіювання, але в циліндричній системі координат. Для цього встановимо циліндричну систему координат:

Utility Menu > Work Plane > Change Active CS to > Global Cylindrical

Побудуємо кільце:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>Annulus

У вікні *Annular Circular Area* вводимо наступні параметри:
координати центру кільця $WP X$, $WP Y$: (1,0);
внутрішній і зовнішній радіуси кільця $Rad - 1$, $Rad - 2$: 0,1 і 0,2. **OK**.

Копіюємо поверхню:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Areas

Курсором виділяємо кільце, **OK**. У вікні *Copy Areas* (рис. 1.96)
вказуємо кількість копій — 5, і кут, **OK** (рис. 1.97).

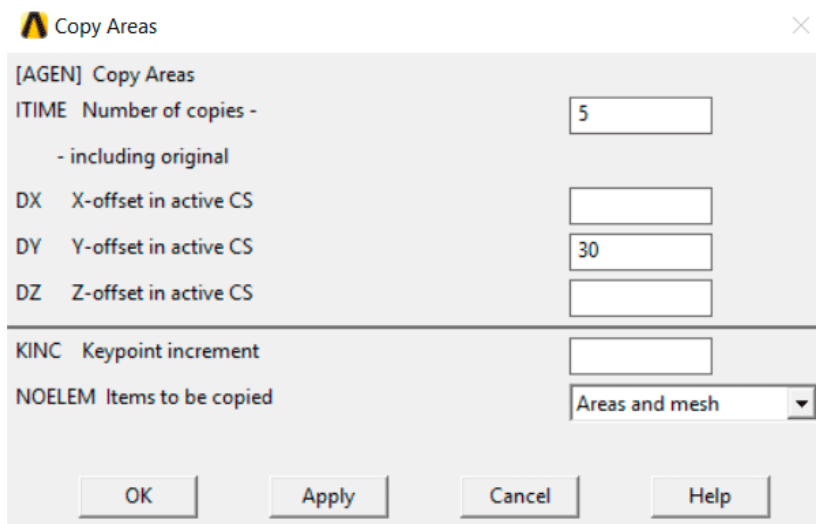


Рис. 1.96

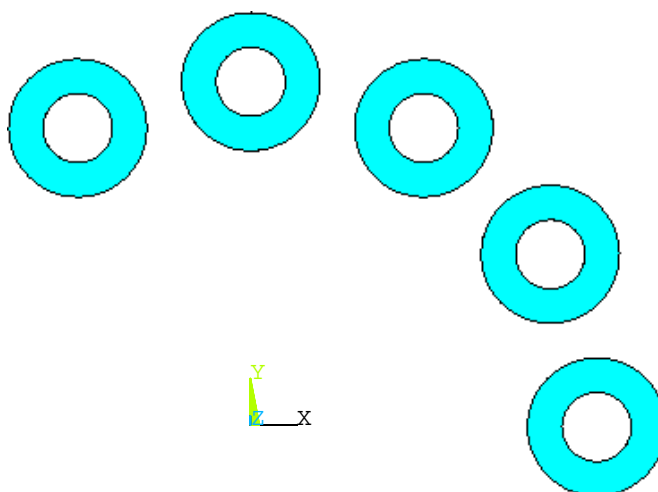


Рис. 1.97

- Копіювання об'ємів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes

1.3.5. Створення або перенос нових об'єктів шляхом симетричного відображення

- Симетричне відображення або перенос точок:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Keypoints

При відкритті вікна *Reflect Keypoints* виділити точки, які потрібно симетрично відобразити, **ОК**. У діалогові вікні *Reflect Keypoints* необхідно вибрати наступні параметри:

Ncomp Plane of symmetry Y-Z plane X, X-Z plane Y, X-Y plane Z — площина, щодо якої необхідно відобразити або перемістити точки;

NOELEM Items to be reflected — при виборі пункту *Keypoints & mesh* на копіях буде створена скінченно-елементна сітка, аналогічна прототипу, якщо вона була створена раніше, а при виборі *Keypoints only* будуть створені тільки точки;

MOVE Existing keypoints will — при виборі пункту *copied* будуть створені нові точки, симетричні вихідним щодо обраної площини; якщо ж вибрати *Moved*, то точки будуть перенесені симетрично обраної площини.

Аналогічним чином можна симетрично відобразити лінії, поверхні, об'єми.

- Симетричне відображення або перенос ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Lines

- Симетричне відображення або перенос поверхонь:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Areas

- Симетричне відображення або перенос об'ємів:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Volumes

1.3.6. Видалення об'єктів

Дуже важлива в практичному відношенні можливість виправлення моделі, видалення окремих її елементів, але при цьому повинна зберігатися ієрархія: об'єкт більш низького порядку не може бути вилучений, якщо він є частиною об'єкта більш високого порядку, наприклад, об'єм не можна

вилучити, якщо він вже має сітку скінченних елементів; лінія, що належить поверхні, також не може бути вилучена і т.д.

Ієрархія об'єктів моделювання в плані можливості їх видалення виглядає так: елементи (і навантаження на них) > вузли (і вузлові навантаження) > об'єми (і навантаження прикладені до моделі) > поверхні (і поверхневі навантаження) > лінії (і навантаження по лінії) > ключові точки (і зосереджені навантаження).

- Видалення ключових точок:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Keypoints

З появою вікна *Delete Keypoints* виділити точки, які видаляються й нажати **ОК**.

- Видалення ліній:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Lines Only

- Видалення ліній із приналежними їм точками:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Line and Below

- Видалення поверхні:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Areas Only

- Видалення поверхні із приналежними їй лініями й точками:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Area and Below

- Видалення об'єму:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Volumes Only

- Видалення об'єму із приналежними йому компонентами:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Delete > Volume and Below

1.4. Побудова скінченно-елементної моделі

1.4.1. Встановлення типу елемента та його характеристик

Бібліотека скінченних елементів програми ANSYS

Бібліотека програми нараховує більш 150 скінченних елементів. Скінченні елементи призначено для двовимірних (2D) або тривимірних (3D)

моделей і розглядаються як об'єкти, що приймають наступні геометричні форми: точка, лінія, поверхня або об'єм.

У бібліотеці є як лінійні, так і квадратичні елементи (із проміжними вузлами в середині сторони), які при однаковій сітці дають більш точні результати. Ребра квадратичних елементів можуть бути прямими й криволінійними. Лінійні елементи для підвищення точності звичайно забезпечуються додатковими функціями форми. У загальному випадку серединні вузли на будь-якій стороні елемента можна вилучити. Більшість тривимірних елементів-паралелепіпедів можна перетворити в призматичні або чотиригранні, а більшість двовимірних чотирибічних елементів може вироджуватися в трикутні.

Скінченні елементи розділені на окремі групи:

- Structural — для розрахунків статичних і динамічних напружень.
- Explicit Dynamics — елементи явного методу динамічного аналізу.
- Hyperelastic — для моделювання гіперпружних матеріалів.
- Visco — елементи для в'язко-пружних і в'язко-пластичних матеріалів.
- Thermal — елементи стаціонарного й нестаціонарного теплообміну.
- Fluid — елементи суцільного середовища для аналізу руху потоків рідини й газу, розв'язку завдань гідроаеромеханіки, акустики, плинущого середовища.
- Thermal Electric — елементи для аналізів, що включають як теплові, так і електричні ефекти.
- Magnetic Electrics — для аналізу статичних, гармонійних і довільно мінливих у часі магнітних полів.
- Coupled-Field — елементи зв'язаного завдання для розрахунків, у яких враховується взаємовплив результатів двох або більш видів аналізу (аналіз на міцність, тепловий, магнітний, аналіз суцільного середовища, електричний).
- Contact — елементи для моделювання нелінійного контакту.

- General — елементи, що включають такі типи: комбіновані (Combination), матричні (Matrix), поверхневі (Surface) і елементи, що моделюють умови на нескінченності (Infinitive). Цей набір елементів має особливі можливості.

Вибір типу елемента й завдання його опцій

Для вибору типу елемента використовується наступний пункт меню:

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete

У вікні *Element Type* будуть відображатися всі обрані елементи. Наприклад, нам необхідно вибрати елемент *Beam3*. Для цього у вікні *Element Type* натискаємо кнопку **Add...** У лівім полі вікна *Library of Element Types* вибираємо *Structural Mass*, у правому — *3D mass 21*. У рядку *Element Type reference number* вказується номер посилання, **OK** (рис. 1.98).

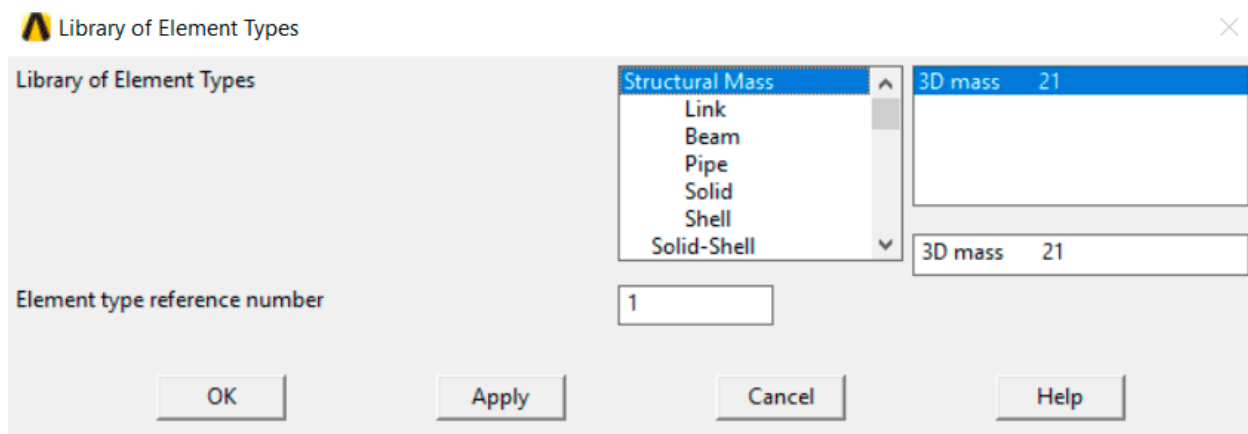


Рис. 1.98

Для завдання опцій елементу натискаємо у вікні *Element Type* кнопку **Options...** У вікні, що з'явилося, у рядку *Rotary inertia options* вибираємо *2-D w/o rot iner* (двовимірна модель з врахуванням маси та без врахування сили інерції), **OK** (рис. 1.99).

Закриваємо вікно *Element Type* натисканням кнопки **Close**.

Для кожного елемента задаються свої опції, при цьому для деяких елементів завдання опцій взагалі не передбачене.

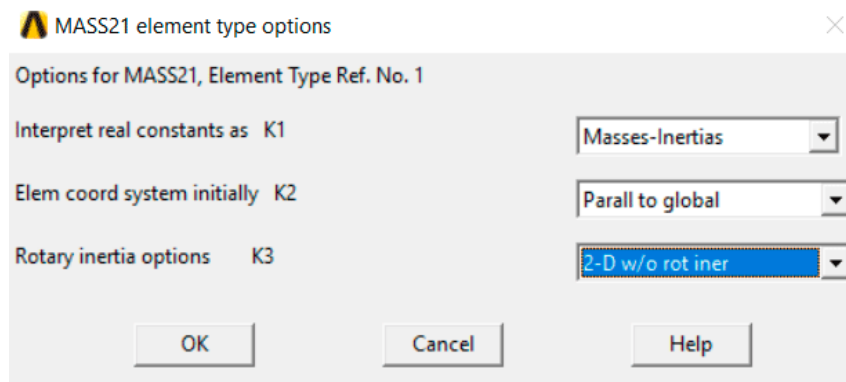


Рис. 1.99

Визначення речовинних констант елемента

Речовинні константи елемента є властивостями, які залежать від типу елемента, наприклад, для елемента *MASS21* такою константою являється маса елемента:

Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete

У вікні *Real Constants* натискаємо кнопку **Add...** Вікно *Element Type for Real Constants* після натискання **OK** виводить на монітор вікно *Real Constants Set Number 1, for MASS21*, у якому задається величина маси елемента (рис. 1.100).

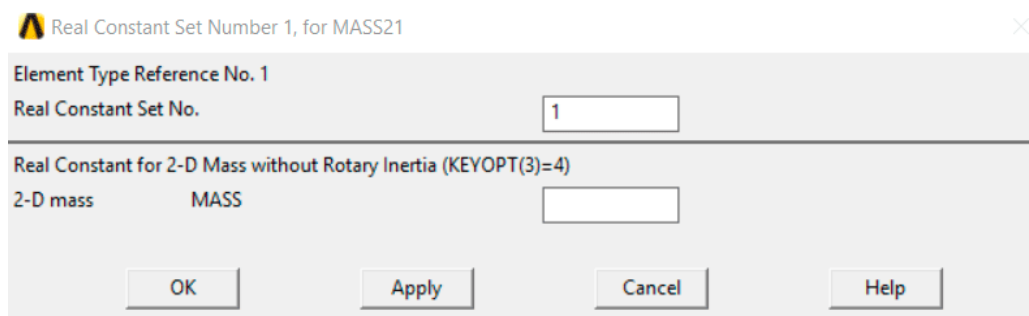


Рис. 1.100

Далеко не всі типи елементів вимагають завдання речовинних констант, а різні елементи одного типу можуть мати різні їхні значення. Так само, як і в типів елементів, кожний набір констант має номер посилання.

Визначення фізичних властивостей матеріалу

При використанні того або іншого скінченного елемента, як правило, потрібно задавати фізичні властивості матеріалу. Завдання фізичних властивостей матеріалу здійснюється за допомогою пункту головного меню

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models...

При цьому виводиться вікно *Material Model Behavior*, у якому вибирають необхідні характеристики й задають їхні числові значення (рис. 1.101).

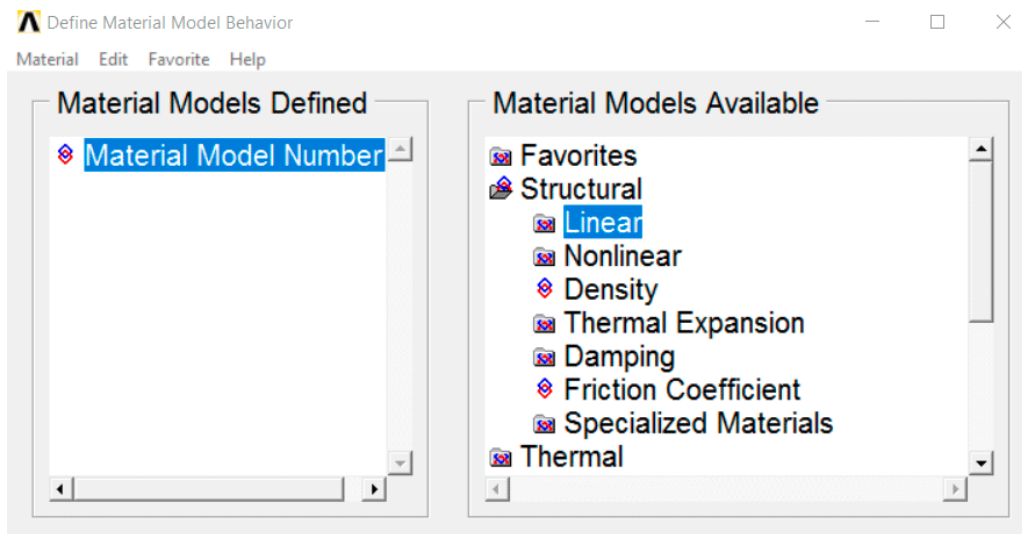


Рис. 1.101

Це діалогове вікно розділене на дві частини. Ліворуч (*Material Models Defined*) розташовується перелік номерів моделей матеріалів, певних на момент відкриття вікна (за замовчуванням визначено одне ім'я матеріалу — *Material Model Number 1*). У правій частині (*Material Models Available*) можна вибрати необхідну для розв'язку завдання модель матеріалу; тут реалізована деревоподібна структура, рухаючись по якій, переходять від загальних пунктів до більш детальних.

Для розв'язку завдань інженерної механіки використовується пункт *Structural*, клацання мишею на якому відкриває доступ до підпунктів *Linear* (лінійне деформування) і *Nonlinear* (нелінійне).

При необхідності можна використовувати в рамках одного завдання кілька матеріалів з різними властивостями:

Define Material Model Behavior > Material > New Model...

У вікні, що відкрилося, вводиться порядковий номер наступного матеріалу; у вікні *Material Models Defined* з'явиться новий рядок — *Material Model Number 2* і т.д.

Лінійні властивості матеріалу (*Elastic*) можуть бути постійними або залежати від температури, можуть бути ізотропними, ортотропними або анізотропними.

Можна задавати відповідно до напрямку мітку тих або інших властивості, наприклад, E_X , E_Y , E_Z для модуля пружності I роду. Якщо матеріал ізотропний, то його властивості задаються тільки в напрямку осі X ; властивості відносно інших напрямків автоматично ухвалюються такими ж.

З метою зниження об'єму інформації, що вводиться, за замовчуванням у програмі також приймається:

$PRXY = 0,3$ (коефіцієнт Пуассона);

$$GXY = \frac{EX}{2(1 + PRXY)} \text{ (модуль зсуву).}$$

Властивості матеріалу, що залежать від температури, в ANSYS задаються у вигляді полінома (від першого порядку до четвертого) або у вигляді табличних даних. Температуро залежні властивості матеріалу враховуються програмою при складанні матриць елементів.

Нелінійні властивості матеріалу (наприклад, дані пластичності) звичайно задаються у вигляді таблиць.

Аналогічним образом задаються анізотропні властивості пружності, які вводяться у вигляді матриці (відзначимо, що ці властивості відрізняються від анізотропної пластичності, яка вимагає завдання різних залежностей розтягання-стиску в різних напрямках).

1.4.2. Способи побудови скінченно-елементної сітки

Після побудови твердотільної моделі, створюється її скінченно-елементний аналог (тобто сітка вузлів і елементів). В ANSYS передбачено чотири способи генерації сітки: використання методу екструзії, створення впорядкованої сітки, створення довільної сітки (автоматично) і адаптивна побудова.

Метод екструзії (видавлювання) використовується для перетворення областей двовимірної сітки в тривимірні об'єкти, що складається із паралелепіпедів, клиноподібних елементів або їх комбінації.

Побудова *впорядкованої сітки* вимагає попередньої розбивки моделі на окремі складові частини із простою геометрією, а потім вибору таких атрибутів елемента й відповідних команд керування якістю сітки, щоб можна було побудувати скінченно-елементну модель із упорядкованою сіткою. Створювана програмою *впорядкована сітка* може складатися із шестикутних, чотирикутних і трикутних елементів.

ANSYS дозволяє також будувати *довільну сітку*, яка може наноситися безпосередньо на модель досить складної геометрії — без необхідності будувати сітку для окремих частин і потім збирати їх у єдину модель. Довільну сітку можна будувати із трикутних, чотирикутних і чотиригранних елементів.

Адаптивна побудова сітки полягає в тому, що після створення твердотільної моделі й завдання граничних умов програма, за вказівкою користувача, генерує скінченно-елементну сітку, виконує аналіз, оцінює помилку за рахунок сіткової дискретизації й змінює розмір сітки від розв'язку до розв'язку доти, поки розрахункова погрішність не стане менше якоїсь наперед заданої величини (або поки не буде досягнуто встановлене число ітерацій).

Завдання атрибутів для елементів

Основною метою на етапі розробки геометричної моделі є створення адекватної скінченно-елементної моделі, що складається з вузлів і елементів. Процедура створення вузлів і скінченних елементів сітки складається із трьох основних етапів:

- завдання атрибутів для елементів сітки;
- установка засобів керування якістю сітки (на вибір);
- генерування сітки.

Другий етап використовується не завжди, оскільки в більшості випадків керування якістю сітки використовується за замовчуванням.

Перед генерацією сітки вузлів і скінченних елементів слід задати відповідні атрибути елементів. Це означає, що потрібно задати наступне:

- тип елемента;
- набір речовинних констант (товщина елемента, площа поперечного перерізу та ін.) або переріз;
- властивості матеріалу (модуль пружності, теплопровідність і ін.);
- систему координат елемента.

Користувач може привласнити атрибути скінченних елементів різним частинам своєї геометричної моделі, використовуючи в якості покажчиків відповідні номери посилань. Атрибути можна привласнити обраним об'єктам твердотільної моделі або задати набір атрибутів «за замовчуванням» (останній буде використовуватися для скінченних елементів, створених при наступних операціях побудови сітки).

- Присвоєння атрибутів усім ключовим точкам:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Keypoints

У вікні *Keypoint Attributes* необхідно вибрати:

MAT Material number — властивості матеріалу;

REAL Real constant set number — набір речовинних констант елемента;

TYPE Element type number — тип елемента;

ESYS Element coordinate sys — тип системи координат елемента.

- Присвоєння атрибутів обраним точкам:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Kps

При відкритті вікна *Keypoint Attributes* курсором миші виділяємо потрібні нам точки, **ОК**. Наступні дії аналогічні викладеним.

- Присвоєння атрибутів усім лініям:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines

- Присвоєння атрибутів усім обраним лініям:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines

- Присвоєння атрибутів усім площинам:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Areas

- Присвоєння атрибутів усім обраним площинам:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Areas

- Присвоєння атрибутів усім об'ємам:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Volumes

- Присвоєння атрибутів усім обраним об'ємам:

Main menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Picked Volumes

- Присвоєння атрибутів твердотільної моделі за замовчуванням:

Main menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs

При використанні даного пункту меню, активним стає певний набір атрибутів, який задає користувач. Ці атрибути будуть використовуватися для скінченних елементів, створених при наступних операціях побудови сітки.

Операції, описані в цьому розділі, можна замінити вікном *Mesh Tool*, яке служить також для побудови й керування скінченно-елементною сіткою.

Побудова скінченно-елементної моделі засобами Mesh Tool

Найбільш зручним засобом для побудови скінченно-елементної сітки є меню *Mesh Tool*. Воно являє собою панель, в якій зібрані практично всі необхідні опції для керування, створення й видалення скінченно-елементної сітки. Для виклику вікна *Mesh Tool* необхідно скористатися наступним маршрутом:

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

Вікно *Mesh Tool* складається із шести секцій; розглянемо докладно кожна з них.

Секція *Element Attributes* (рис. 1.102) призначена для присвоєння атрибутів компонентам твердотільної моделі.

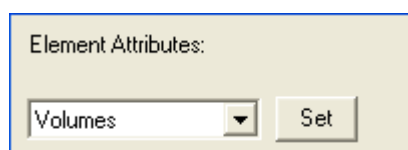


Рис. 1.102

У меню *Element Attributes* необхідно вибрати компонент твердотільної моделі (пункт *Global* відповідає пункту головного меню *Default Attributes*) і натиснути розташовану поруч кнопку **Set**, після чого у вікні вибрати необхідний набір атрибутів.

Smart Size (рис. 1.103) дозволяє управляти якістю довільної сітки. Користувач може вибрати дрібну або велику сітку елементів, указавши в якості керуючого параметра будь-яке число з діапазону від одиниці до десяти.

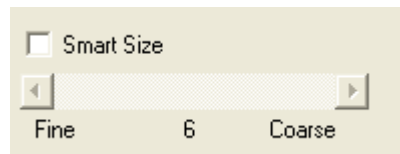


Рис. 1.103

Для активації цієї функції слід установити галочку у пункті *Smart Size*, потім за допомогою лінійки встановити рівень щільності сітки: *Fine* — щільна розбивка; *Coarse* — груба розбивка.

Приклад побудови щільної сітки (рівень 1) і середньої (рівень 6) показаний на рис. 1.104.

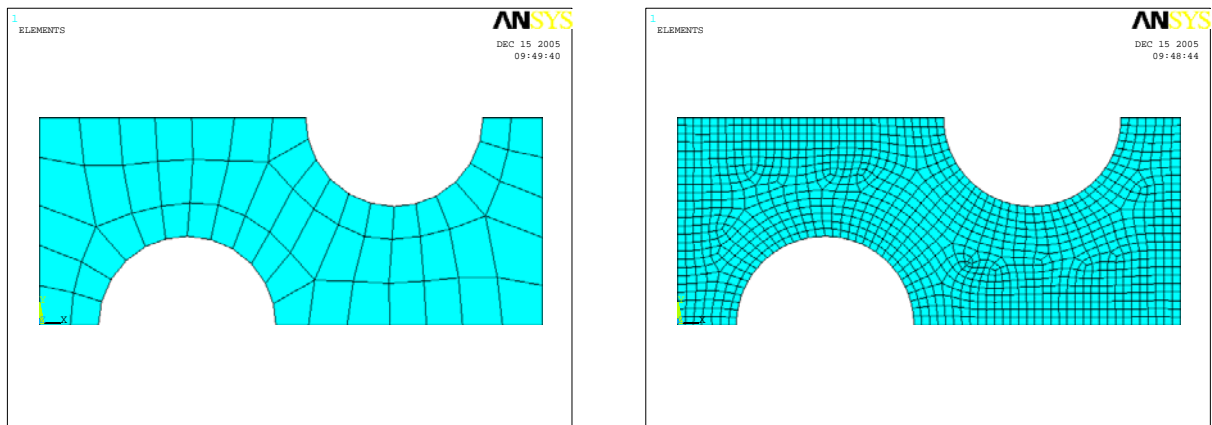


Рис. 1.104

Установити щільність довільної сітки можна за допомогою головного меню:

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Smartsize > Basic

У меню вікна *Basic Smart Size Setting* необхідно вибрати рівень щільності сітки.

Size Controls забезпечує контроль розмірів елементів для окремих компонентів моделі (рис. 1.105).

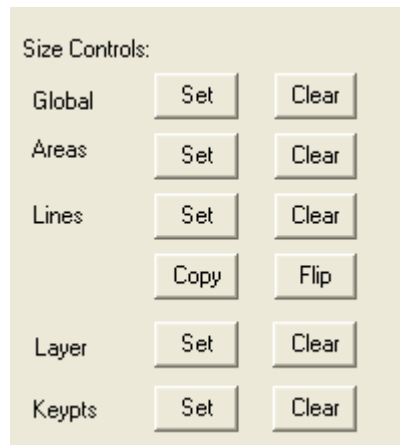


Рис. 1.105

Ця секція використовується, в основному, для створення впорядкованої скінченно-елементної моделі. Секція *Size Controls* складається з набору наступних пунктів:

Global — служить для завдання розмірів елементів для всіх компонентів моделі. При натисканні кнопки **Set** з'явиться меню *Global Element Sizes*, у якому необхідно вказати довжину ребра елемента в поле *SIZE Element edge length* або в полі *NDIV No, of element divisions* вказати кількість розбивки на лінії.

Кнопка **Clear** служить для видалення встановлених параметрів розбивки.

Areas — служить для вказівки розмірів елементів на граничних лініях обраних поверхонь. Кнопка **Set** викликає вікно вибору *Elem Size at Picked Areas*, з появою якого необхідно вибрати поверхні, натиснути **OK** або **Pick All**, якщо розбивка задається для всіх існуючих поверхонь. Потім у вікні *Elements Size at Picked Areas* у рядку *SIZE Element edge length* ввести кращий розмір елемента на граничних лініях поверхні.

Lines — служить для вказівки розміру елемента на лінії, коефіцієнта розтягання або стиску вдалині від границь, обмеження на кривизну ребра елемента. При натисканні кнопки **Set** з'явиться меню вибору *Element Size on Picked...*; курсором миші потрібно вибрати лінії, на яких задається розбивка,

OK (натиснути **Pick All**, якщо розбивка задається на всіх лініях). У вікні *Element Sizes on Picked Lines* задаються наступні параметри:

SIZE Element edge length — розмір елемента, створюваного на лінії;

NDIV No, of element division — кількість створюваних елементів на лінії, це поле заповнюється, якщо не заданий розмір елемента *SIZE*;

KYNDIV SIZE, NDIV can be changed — *Yes* “за замовчуванням” дозволяє програмі якщо буде потреба змінити задану довжину елемента або їх кількість, *No* — забороняє ці зміни;

SPACE Spasing ratio — коефіцієнт стиску скінченно-елементної розбивки. За «замовчуванням» цей коефіцієнт рівний 1, і тоді всі елементи будуть рівної довжини. Якщо коефіцієнт більше 1, то розміри скінченного елемента будуть збільшуватися, якщо менше 1 – зменшуватися.

ANGSIZ Division arc (degrees) — обмежує кривизну дуги елемента, якщо він криволінійний величиною, що вказується тут (у градусах).

Кнопка **Copy** здійснює копіювання розбивки з однієї лінії на іншу. При виклику вікна *Copy Line Divisions* необхідно вибрати лінію, з якої буде скопійована розбивка. **OK**. Потім виділити лінію (лінії), на які копіюється розбивка. **OK**. Якщо на лініях раніше була задана розбивка, то при операції копіювання вона буде перевизначена.

Flip — дзеркально відображає розбивку на лінії, яка задана за допомогою коефіцієнта стиску. Приклад використання функції *Flip* представлено на (рис. 1.105).



Рис. 1.105

Секція *Meshing Controls* (рис. 1.106) містить опції, необхідні для розбивки компонентів моделі на скінченно-елементну сітку.



Рис. 1.106

Mesh — містить список вибору типу компоненту твердотільної моделі, який буде зазнавати побудови скінченно-елементної сітки:

Volumes — об'єми;

Areas — поверхні;

Lines — лінії;

Keypoints — точки.

Shape містить опції, що дозволяють вказати форму елемента й тип скінченно-елементної сітки. Це меню активно тільки при розбивці на скінченні елементи об'ємів або поверхонь.

Секція *Refinement Controls* дозволяє задати згущення сітки в околиці вузлів, елементів, ключових точок, ліній, площ залежно від вибору, зробленого в меню *Refine at*, наприклад, виберемо в зазначеному меню *Nodes* і натиснемо **Refine**. Після появи меню вибору *Refine mesh at nodes*, мишею вказуємо вузли, на околицях яких потрібно згустити сітку. **ОК**. Після цього відкривається вікно *Refine Mesh at Node*. У цьому вікні можна вказати рівень (глибину) згущення сітки. Якщо при цьому в рядку *Advanced options* установити прапорець (*Yes*), то після натискання **ОК** можна задати додаткові опції згущення (у вікні *Refine mesh at nodes advanced options*).

Побудова об'ємної скінченно-елементної сітки за допомогою екструзії (видавлювання)

Процес екструзії здійснюється за допомогою процедур зсуву із площини, буксирування, поступального й обертового переміщень.

Розглянемо приклад:

1. Побудова квадрату.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By 2 Corners

У вікні *Rectangle by 2 Corners* вводимо наступні параметри:

WP X : 0

WP Y : 0

Width : 2

Height : 2 **OK.**

2. Побудова окружності.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas > Circle > Solid Circle

У вікні *Solid Circular Area* у полях *WP X*, *WP Y* вводимо координати центру кола (2; 2), у полі *Radius* — радіус окружності 0.5. **OK** (рис. 1.107).

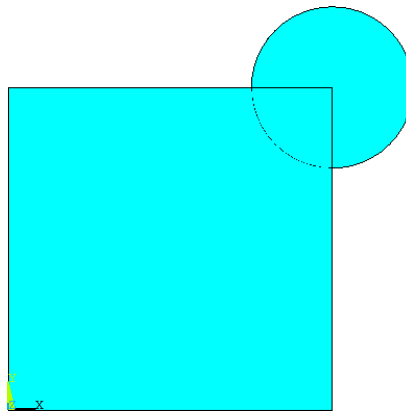


Рис. 1.107

3. Вирахуємо коло із квадрату.

Main Menu> Preprocessor> Modeling>Operate> Booleans> Subtract >Areas

Після появи вікна *Subtract Areas* курсором миші виділяємо квадрат. **OK.** Потім виділяємо коло. **OK.** (рис. 1.108).

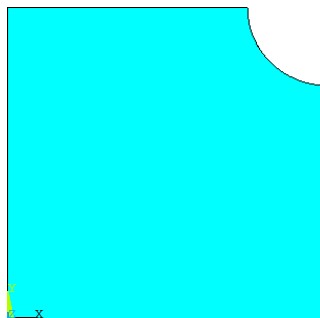


Рис. 1.108

4. Задаємо тип елемента.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add...

У вікні *Library of Element Types* вибираємо елемент *Solid Quad 4 node 182*. **Apply**. Вибираємо елемент, призначений для твердотільної моделі — *Solid Brick 8 node 185*. **OK. Close**.

5. Побудова направляючої лінії, уздовж якої буде «видавлюватися» скінченно-елементна сітка.

Задаємо точку:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У полі *NPT keypoint number* вводимо номер точки — 9. У полях *X, Y, Z Location in active CS* вводимо координати точки — (0; 0; 4).

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines > Straight Line

Курсором виділяємо точку 9 і точку, що знаходиться на початку системи координат. **OK**.

6. Будуємо впорядковану сітку на поверхні.

Для побудови впорядкованої сітки поверхня повинна бути правильної форми, обмеженою чотирма лініями. Для створення правильної поверхні виконаємо операцію «зшивки».

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Concatenate > Line

Курсором виділяємо дві лінії, розташовані напроти круглого вирізу. **OK**. Задаємо кількість розбивок на лініях:

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо кнопку **Set** поруч із *Lines*. Курсором виділяємо лінії, що примикають до вирізу, і лінію вирізу. **OK**. У полі *NDIV No, of element divisions* вводимо кількість розбивок на лінії: 10. **OK**.

Будуємо сітку:

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool*, у меню *Mesh* вибираємо *Areas*, у меню *Shape* вибираємо *Quad* (квадратичні елементи) і *Mapped* (упорядкована сітка),

натискаємо **Mesh**, потім у вікні, що з'явилося, – **Pick All**. Отримане зображення показано на рис. 1.109.

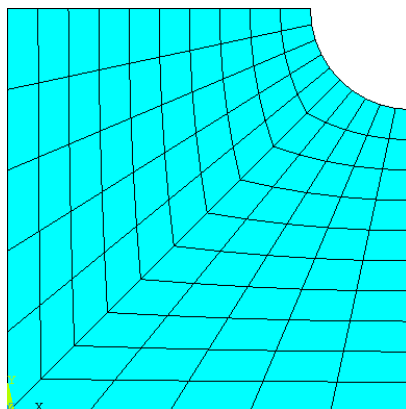


Рис. 1.109

Очищуємо лінії від «зшивки».

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Concatenate > Del Concats > Lines

7. Задаємо опції операції екструзії.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Elem Ext Opts

У вікні *Element Extrusion Options* необхідно вказати для створюваних елементів: тип елемента [*TYPE*], властивості матеріалу [*MAT*], реальні константи [*REAL*], систему координат елемента, кількість створюваних елементів уздовж направляючої (*VAL1*) і коефіцієнт стиску уздовж направляючої (*VAL2*). При установці прапорця в положення *Yes* у рядку *ACLEAR Clear area(s) after ext* поверхня, що видавлюється, буде очищена від попередньої розбивки.

Для даного прикладу досить у меню [*TYPE*] *Element type number* вибрати 2 *SOLID185*, у полі *VAL1 No, Elem divs* вказати кількість розбивок уздовж направляючої: 20. **ОК.**

8. Створюємо об'ємну сітку.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > Along Lines

Виділяємо поверхню. **ОК.** Потім виділяємо направляючу лінію. **ОК.**
Відобразимо елементи:

Utility Menu > Plot > Elements

Отримане зображення представлено на рис. 1.110.

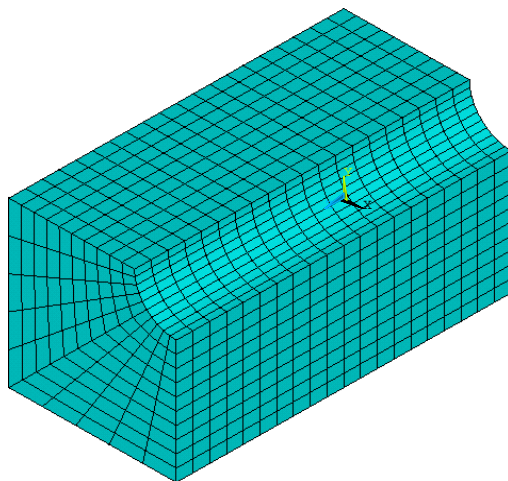


Рис. 1.110

Розглянемо докладно побудову скінченно-елементної сітки для кожного типу компонента твердотільної моделі.

При розбивці об'єму на скінченні елементи в меню *Mesh* вибираємо *Volumes*. Потім вибираємо форму скінченного елемента в меню *Shape*. Від форми скінченного елемента залежить і подальша побудова сітки.

При виборі чотиригранних елементів *Tet* можлива побудова тільки довільної сітки *Free*, інші функції недоступні. Натискаємо кнопку **Mesh**. З появою меню вибору *Mesh Volumes* необхідно вибрати об'єми й натиснути **ОК**.

- При виборі шестигранних елементів *Hex* можливі 2 варіанти: побудова впорядкованої сітки (*Mapped*) і побудова сітки шляхом проектування скінченно-елементної сітки із площини на об'єм (*Sweep*).

Для побудови впорядкованої сітки при виборі *Hex* вибираємо *Mapped*. Потім натискаємо **Mesh**. З'являється меню вибору *Mesh Volumes*, курсором миші необхідно вибрати об'єми й натиснути **ОК**.

Для побудови скінченно-елементної моделі шляхом проектування при виборі *Hex* вибираємо *Sweep*; при цьому можливі 2 варіанта побудови:

– якщо в меню, що випадає, вибрати *Auto Src/Trg*, то після натискання **Sweep** у меню *Volume Sweeping* необхідно вказати об'єм і натиснути **ОК**. Програма автоматично спроектує сітку із площини на об'єм;

– якщо в меню вибрати *Pick Src/Trg* і натиснути кнопку *Sweep*, то спочатку необхідно вибрати об'єм, **ОК**. Потім указати поверхню, з якої проектується сітка. **ОК**. Вказати поверхню, на яку проектується сітка, проходячи через об'єм, що розбивається, **ОК**.

Для побудови скінченно-елементної моделі на поверхні в меню *Mesh* необхідно вибрати *Areas*. В меню *Shape* вибрати форму скінченного елемента (*Tri* — трикутний, *Quad* — чотирикутний) і тип сітки (*Free* — довільна, *Mapped* — упорядкована).

При виборі впорядкованої сітки *Mapped* можливі два варіанти:

– *3 or 4 sides* — при виборі цієї опції поверхня генерації повинна бути обмежена чотирма лініями. Кнопка **Mesh** відкриває вікно вибору *Mesh Area*. Необхідно вибрати поверхню й натиснути **ОК**;

– *Pick corners* — використовується в тих випадках, коли поверхню обмежено п'ятьма й більш лініями, тому що в цьому випадку опція *3 or 4 sides* не працює.

Для створення скінченно-елементної сітки на лініях або в точці необхідно в меню *Mesh* вибрати відповідно *Lines* або *KeyPoints* і натиснути **Mesh**. Потім після появи вікна вибору вибрати лінії або точки. **ОК** або **Apply**, якщо побудову необхідно продовжити. Кнопка **Clear** у секції *Meshing Controls* очищає компоненти твердотільної моделі від скінченно-елементної сітки. Для очищення необхідно в меню *Mesh* вибрати тип компонента моделі й натиснути **Clear**. Потім з появою меню вибору — вибрати компонент і натиснути **ОК**.

Побудова скінченно-елементної моделі для балкових елементів має свої характерні риси; у той же час балкові елементи дуже широко застосовуються, тому розглянемо деякі найважливіші аспекти, пов'язані з їхнім використанням більш детально.

Вибір типу поперечного перерізу (рис. 1.111):

Main Menu > Preprocessor > Sections > Beam > Common Sections

У вікні *Beam Tool* (рис. 1.111) можна вибрати один зі стандартних перерізів ANSYS або побудувати необхідний користувачеві:

ID — номер створюваного перерізу; *Name* — ім'я створюваного перерізу (максимум 8 символів); *Sub-type* — містить вбудований список стандартних перерізів;

Offset To — дозволяє розташувати вузол у деяких певних точках перерізу: так, при виборі пункту *Centroid* вузол розташується в центрі ваги перерізу; при виборі *Shear Cen* — у центрі зрушення; при виборі *Origin* — на початку координат перерізу; а, якщо задати *Location*, то вузол буде визначено двома координатами, які вводяться нижче в полях *Offset – Y* і *Offset – Z*.

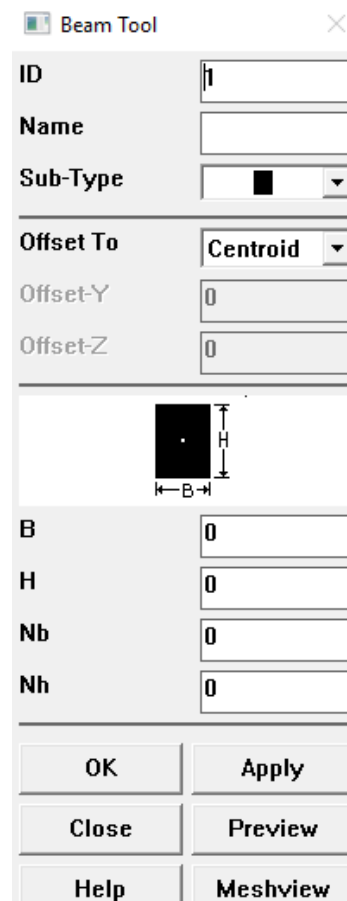


Рис. 1.111

Нижче у вікні *Beam Tool* (рис. 1.111) схематично зображений переріз з необхідними геометричними параметрами. Під ним розташовуються відповідні поля введення. Кожний тип перерізу має свій набір параметрів. Наприклад, для прямокутного перерізу необхідно ввести наступні параметри:

B — ширина перерізу; *H* — висота перерізу;

Nb — кількість розбивок уздовж ширини;

Nh — кількість розбивок уздовж висоти.

Для коробчастого перерізу (рис. 1.112) необхідно ввести: *W1*, *W2* — ширина й висота перерізу; *t1*, *t2*, *t3*, *t4* — товщини стінок перерізу.

За допомогою бігунка, розташованого в нижній частині (рис. 1.112), можна встановити рівень щільності сітки (*Coarse* — груба сітка, *Fine* — щільна сітка).

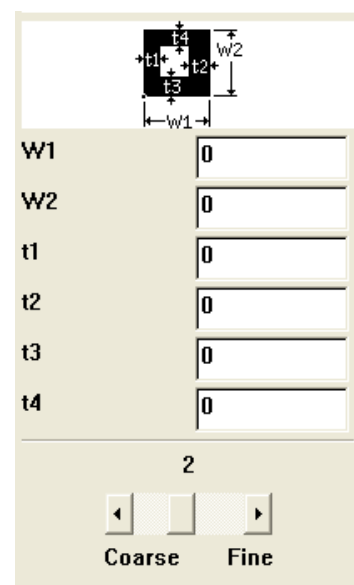


Рис. 1.112

Створення поперечного перерізу

Розглянемо побудову тонкостінного поперечного перерізу, обмеженого прямими лініями. Для цього необхідно створити модель перерізу, привласнити їй елемент *PLANE182*, створити скінченно-елементну сітку й зберегти.

Розглянемо на конкретному прикладі створення перерізу й побудову балкової скінченно-елементної моделі.

1. Створення перерізу.

1.1. Задаємо ключові точки:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У полі *NPT Keypoint number* вводимо номер точки, у полях *X, Y, Z Location in active CS* — її координати:

№ точки	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0.1	0	0
3	0.1	0.05	0
4	0.1- 0.01	0.05	0
5	0.1- 0.01	0.01	0
6	0.01	0.01	0
7	0.01	0.2 - 0.01	0
8	0.1- 0.01	0.2 - 0.01	0
9	0.1- 0.01	0.2 - 0.05	0
10	0.1	0.2 - 0.05	0
11	0.1	0.2	0
12	0	0.2	0

1.2. З'єднуємо точки лініями:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line

Попарно виділяємо точки: 1 - 2; 2 - 3; 3 - 4; 4 - 5; 5 - 6; 6 - 7; 7 - 8; 8 - 9; 9 - 10; 10 - 11; 11 - 12; 12 - 1. **OK**.

1.3. Побудова площини, обмеженої лініями:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>By Lines

Курсором миші виділяємо всі лінії. **OK**.

Пронумеруємо лінії:

Utility Menu > PlotCtrls > Numbering

У рядку *LINE Line numbers* ставимо перемикач із *Off* в *On*, **OK**.

Відобразимо площини (рис. 1.113):

Utility Menu > Plot > Areas

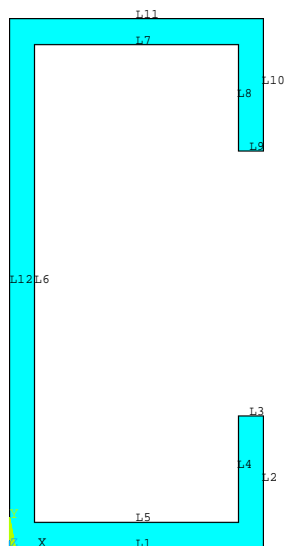


Рис. 1.113

1.4. Задаємо елемент *PLANE 182*:

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add...

У вікні *Library of Element Types* вибираємо *Solid Quad 4 node 182*, **OK**, **Close**.

1.5. Створення скінченно-елементної сітки.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо кнопку **Set** поруч із *Lines*. Курсором виділяємо лінії 1 і 11, **OK**. У полі *NDIV No of element divisions* вводимо кількість розбивок на лініях — 10, **Apply**. Аналогічним чином задаємо кількість розбивок на інших лініях: L2 і L10 — 5; L5 і L7 — 8; L8 і L4 — 4; L3 і L9 — 1; L12 — 20; L6 — 18.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool*, у меню *Mesh* вибираємо *Areas*, в опціях *Shape* вибираємо *Quad* і *Free*, натискаємо **Mesh**. У вікні *Mesh Areas* натискаємо **Pick All** (рис. 1.114).

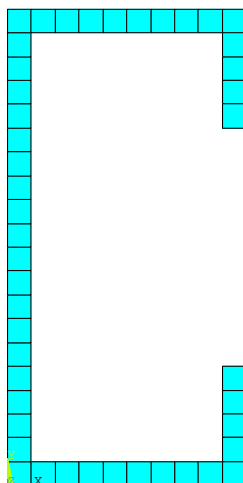


Рис. 1.114

1.6. Збереження перерізу:

Main Menu > Preprocessor > Sections > Beam > Custom Section > Write From Areas

Курсором виділяємо переріз, **ОК**. У вікні *Write Section Library File* (рис. 1.115) натискаємо кнопку **Browse...** У вікні *FILE Section library file* необхідно вибрати директорію (ім'я директорії повинно бути англійською мовою), вказати ім'я файлу й натиснути кнопку **Сохранить**. Назвемо файл іменем **Sections**, потім у вікні *Write Section Library File* натискаємо **ОК**.

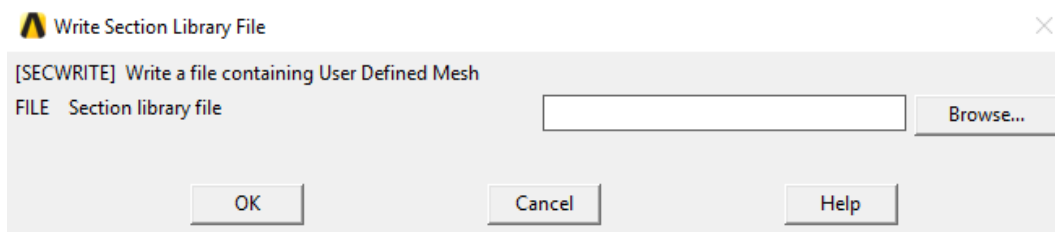


Рис. 1.115

2. Побудова балкової скінченно-елементної сітки.

2.1. Очищуємо базу даних програми, починаємо роботу з новою моделлю:

Utility Menu > Clear & Start New...

У вікні, що з'явилося, **натискаємо ОК**. У вікні *Verity* — **Yes**.

Побудуємо балку довжиною 2 м з раніше створеним перерізом.

2.2. Задаємо ключові точки:

Main Menu>Preprocessor>Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У полі *NPT Keypoint number* вводимо номер точки, у полях *X, Y, Z Location in active CS* — її координати: точка 1 (0; 0; 0); точка 2 (2; 0; 0); точка 3 (1; 0.2; 0). Точка 3 є точкою орієнтації перерізу.

2.3. З'єднуємо точки 1 і 2 лінією:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

2.4. Задаємо тип елемента:

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add...

У вікні *Library of Element Types* вибираємо *Beam 3 node 189*, **OK, Close** (для розрахункової моделі необхідно задати опції елемента, переріз та властивості матеріалу).

2.5. Зчитуємо збережений файл з перерізом.

Main Menu > Preprocessor > Sections > Beam > Custom Section > Read Sect Mesh

Натискаємо **Browse...**, вибираємо файл *Sections.SECT*, натискаємо **Открыть**. У вікні *User Defined Mesh* вводимо номер перерізу — 1 і ім'я — *SECT*. **OK**.

2.6. Привласнюємо атрибути лінії.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines

Виділяємо лінію, **OK**. У вікні *Line Attributes* вибираємо:

TYPE Element type number — 1 BEAM 189

SECT Element section — 1 SECT

У рядку *Pick Orientation Keypoint(s)* ставимо прапорець *Yes*, **OK**. Курсором миші виділяємо точку 3 — точку орієнтації перерізу, **OK**.

2.7. Будуємо скінченно-елементну сітку.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool


У вікні *Mesh Tool* натискаємо **Set** поруч із *Lines*. Виділяємо лінію, **OK**. У поле *NDIV No of element division* вводимо кількість розбивок — 20, **OK**.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо **Mesh**. В *Mesh Lines* — **Pick All**.

Відобразимо скінченно-елементну сітку з урахуванням поперечного перерізу:

Utility Menu > Plotctrls > Style > Size and Shape...

У вікні *Size and Shape* у рядку *[/ESHAPE] Display of element* ставимо перемикач у положення *On*, **ОК**. Для перегляду ізометричної проекції натискаємо кнопку , розташовану праворуч від графічного вікна. Отримане зображення представлено на рис. 1.116.

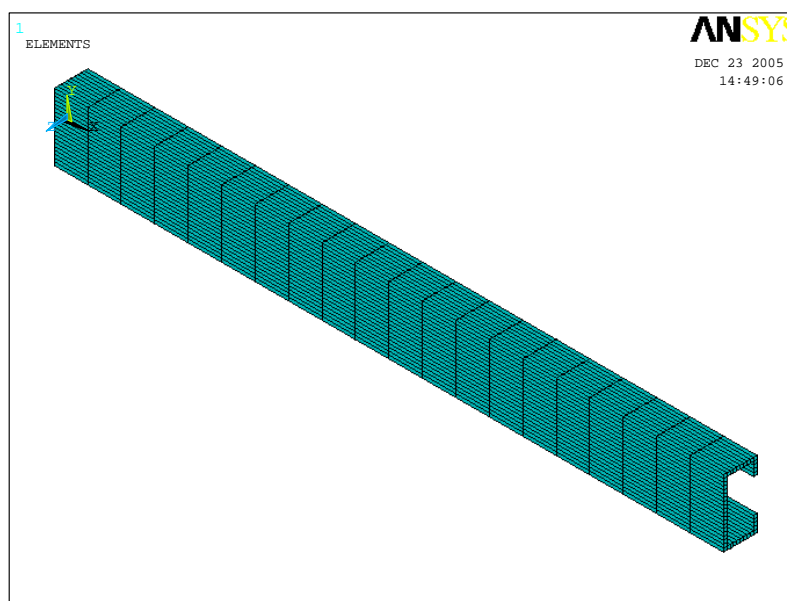


Рис. 1.116

На закінчення цього розділу розглянемо ще два питання, які досить часто виникають після розбивки скінченно-елементної сітки.

Об'єднання співпадаючих компонентів

При моделюванні й розбивці скінченно-елементної сітки виникають ситуації, коли в місцях стикування конструктивних елементів відбувається збіг точок, вузлів, атрибутів, які перед переходом у процесор необхідно об'єднати. Для цього використовують наступний пункт меню:

Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items

У діалоговому вікні необхідно:

- у меню *Label Type of item to be merge* вибрати необхідний компонент;
- у полі *GTOLER Solid model tolerance* указати діапазон збігу для твердотільної моделі (використовується стосовно до ліній);

- у меню *ACTION Merge items or select* можливі 2 варіанта вибору:
 - Merge items* — об'єднати співпадаючі компоненти;
 - Select w/o merge* — виділити співпадаючі компоненти;
- у меню *SWITCH Retain lowest/highest* також 2 варіанта вибору:
 - Lowest number* — зберегти нижчий номер компонента;
 - Highest number* — зберегти вищий номер компонента.

Накладення й видалення взаємних зв'язків вузлів

Main Menu > Preprocessor > Coupling/Seqn > Couple Dofs

Даний пункт дозволяє накласти зв'язку на вузли, що обмежують їхнє взаємне лінійне або кутове переміщення. З появою меню вибору вибрати вузли, **ОК**. У вікні *Define Coupled Dofs* у полі *NSET Set reference number* вводимо номер зв'язку, у меню, що випадає, *Lab Degree-of-freedom label*, вибираємо заборонений ступінь волі.

Для видалення зв'язків використовується наступний пункт меню:

Main Menu > Preprocessor > Coupling/Seqn > Del Coupled Sets

У вікні *Delete Coupled DOF Sets* необхідно вказати:

NSET1, *NSET2*, *NINC* — номери зв'язків, що видаляються, від *NSET1* до *NSET2* із кроком *NINC* (за замовчуванням =1); якщо *NSET1 = ALL*, то будуть вилучені всі зв'язки.

Nsel Of nodes in set, delete if — може приймати одне із двох значень:

- *Any are selected* — вилучити зв'язки, якщо зазначений хоча б один зі зв'язаних вузлів;
- *All are selected* — вилучити зв'язки, якщо зазначені всі зв'язані вузли.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКИ В ПРОГРАМІ ANSYS

2.1. Аналіз тонкостінного стержня на згин з крутінням

Розглянемо двотаврову балку, яка має складений із трьох прямокутників поперечний переріз (рис. 2.1).

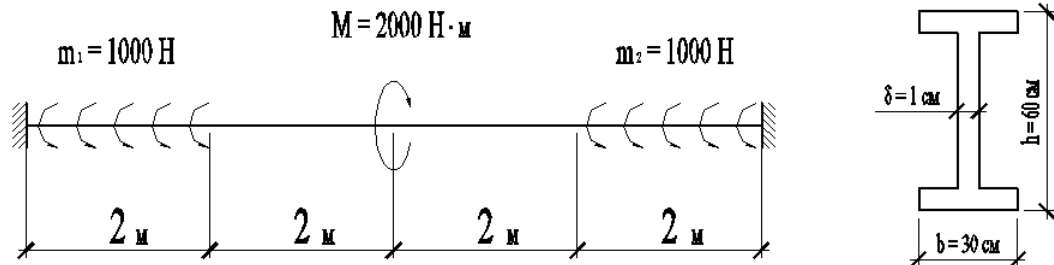


Рис. 2.1

Послідовність дій у програмі ANSYS виглядає так:

1. Встановлення фільтра відносно типу аналізу.

Main Menu > Preprocessor > Preferences

У вікні, що відкрилося, — *Preferences for GUI Filtering* — ставимо прапорець напроти *Structural*. **ОК**.

2. Побудова моделі.

Задаємо ключові точки:

Main Menu>Preprocessor>Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У рядку *Keypoint number* вказуємо номер точки. У другому рядку — *Location in active CS* — вводимо її координати. Після введення кожної точки натискаємо **Apply**: точка 1: (0; 0; 0); точка 2: (8; 0; 0); точка 3: (4;0.6;0;). **ОК**.

Точка 3 являється точкою орієнтації поперечного перерізу балки

Будуємо лінію:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Line>Lines>Straight Line

Курсором миші виділяємо точки 1 і 2. **ОК**.

3. Завдання властивостей матеріалу.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

У правім полі вікна вибираємо **Structural > Linear > Elastic > Isotropic**. У вікні *Linear Isotropic...* вводимо модуль Юнга й коефіцієнт Пуасона: E_X — $2e11$; $PRXY$ — 0.3. **ОК**.

4. Завдання типу елемента та його опцій.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete...>Add

Вибираємо тип елемента — *Beam 3 node 189*. **OK**.

BEAM189 — це лінійний стрижневий елемент, який має 3 вузли на початку, в кінці та всередині, використовуваний головним чином при розрахунках тонкостінних стрижнів (рис. 2.2).

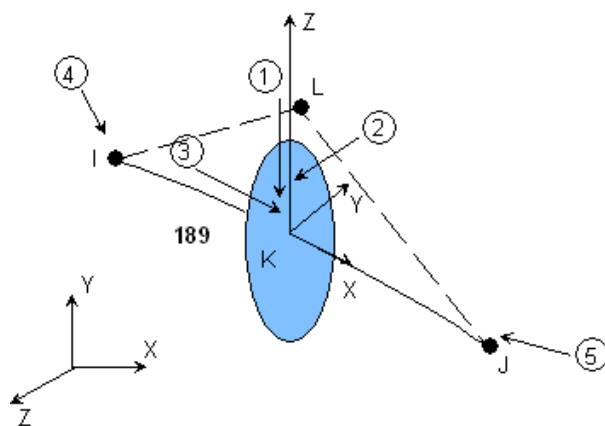


Рис. 2.2

У вікні *Element Types* натискаємо кнопку **Options**. У вікні, що з'явилося, у рядку *Degrees of freedom K1* вибираємо *including WARP7* (опція дає можливість виводити значення згинно-крутних бімоментів), у рядку *Cross section scaling is K2* — *Rigid(classic)* (опція дає можливість розглядати поперечний переріз по класичній теорії тонкостінних стрижнів С.П. Тимошенка), у рядку *Shear stress output K4* — *Include Both* (опція враховує напружено-деформований стан при стиснутому крутінні). Інші поля залишаємо без змін. **OK, Close**.

4. Завдання поперечного перерізу стрижня.

Main Menu>Preprocessor>Sections>Beam>Common Sections

У вікні *Beam Tool* необхідно вказати наступне:

ID — 1; *Name* — *beam*; *Sub-Type* — з бібліотеки стандартних поперечних перерізів вибираємо двотавровий переріз;

Offset To — *Centroid* (вузли перебувають у центрі ваги перерізу).

Габаритні розміри перерізу в метрах: *W1* — 0.3; *W2* — 0.3; *W3* — 0.6;
t1 — 0.01; *t2* — 0.01; *t3* — 0.01.

У рядку *Coarse – Fine* задаємо густоту сітки перерізу — 5.

Відобразимо поперечний переріз, натискаючи **Meshview, ОК.**

5. Побудова скінченно-елементної сітки.

Відображаємо лінію.

Utility Menu > Plot > Lines

Присвоєння атрибутів лінії.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines

У вікні *Line Attributes* у рядку *Pick Orientation Keypoint(s)* ставимо прапорець *Yes*, **ОК.** Курсором миші виділяємо точку 3 (точка орієнтації поперечного перерізу), **ОК.**

Налаштування густоти сітки.

Main Menu>Preprocessor>Meshing > Size Cntrls > Manualsize > Lines >

Picked Lines

У вікні *Element Size on Picked...* вибираємо **Pick All.** У вікні *Element Size on Picked Lines* задаємо кількість скінченних елементів у полі *NDIV. No. of element divisions* — 20, **ОК.**

Будуємо сітку.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool > Mesh > Pick All

6. Завдання умов закріплення.

Main Menu>Solution>Define Loads > Apply > Structural > Displacement >

On Keypoints

Курсором миші виділяємо точки 1 і 2, **ОК.** У полі *Lab2 Dofs to be constrained* вибираємо *ALL DOF*, **ОК.**

7. Завдання навантаження.

У програмі ANSYS немає можливості прикласти розподілений по довжині момент, тому замінимо його зосередженими моментами, враховуючи густоту розбивки стрижня на скінченні елементи. Заздалегідь необхідно виділити всі вузли, які підлягають розподіленому навантаженню.

Відобразимо вузли.

Utilit Menu > Plot > Nodes

При виконанні даного пункту меню на графічному полі відображаються всі вузли. Вздовж осі X відображені вузли, які належать елементу. Вище або нижче — вузли, які орієнтують переріз у просторі (з цими вузлами не можна проводити будь-які маніпуляції).

Виберемо всі вузли що лежать на осі X .

Utility Menu > Select >Entities...

Для цього в вікні *Select Entities* задамо (рис. 2.3):

Nodes — вибираємо вузли;

By Location — критерій вибору відносно осей координат;

Y coordinstes — вибірка відносно осі Y ;

Min,Max — діапазон вибірки відносно осі $0,0$;

From Full — нова вибірка. **Apply**.

Тепер виключимо вузли що не підлягають розподіленому навантаженню. У вікні *Select Entities* змінюємо наступні параметри:

X coordinstes — вибірка відносно осі X ;

Min,Max — діапазон 2.2,5.8;

Unselect — видалити з розгляду. **OK**.



Рис. 2.3

Прикладаємо зосереджений момент у кожний виділений вузол.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Node

У вікні вибору натискаємо **Pick All**. У меню *Apply F/M on Node* у рядку *Lab Direction of force/mom* вибираємо MX , а в рядку *Force/moment value* вводимо величину моменту — 200. **OK**.

Аналогічну операцію виконуємо для зосередженого моменту:

Utility Menu > Select >Entities...

У вікні *Select Entities* вказуємо наступні параметри:

Nodes — вибираємо вузли; *By Location* — критерій вибору;

X *coordinstes* — вибірка відносно осі X ; *Min,Max* — діапазон 4,4 (всередині стрижня); *From Full* — нова вибірка. **OK.**

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Node > Pick All.

У вікні *Apply F/M on Nodes* у рядку *Lab Direction of force/mom* вибираємо MX , а у вікні *Force/moment value* вводимо (-2000). **OK.**

Виділяємо всі вузли стержня:


Utility Menu > Select > Everything

Відобразимо стержень з поперечним перерізом:

Utility Menu > PlotCtrls > Style > Size and Shape

У рядку *Display of element* ставимо прапорець *On*. **OK.**

Utility Menu > Plot > Elements

Для зображення тривимірної моделі в ізометрії натиснемо кнопку  в правій частині графічного вікна.

Utility Menu > Plotctrls > Panzoomrotate > Iso > Close

8. Запуск на розв'язок.

Виділяємо всю конструкцію:

Utility Menu > Select > Everything

Main Menu > Solution > Solve > Current LS > OK

Вікно з повідомленням *Solution is done!* свідчить про те, що рішення отримано.

9. Перегляд результатів розрахунків.

Зчитуємо результати:

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set

Деформована форма:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Defomed Shape.

Відзначаємо *Def + undeformed*. **OK.**

Кути повороту перерізу:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu

У вікні *Contour Nodal Solution Data*, у папці *DOF Solution*, вибираємо *Rotation vector sum*. **ОК**.

Вмикаємо фронтальну проекцію, натиснувши кнопку .

Будуємо епюри крутних моментів (команди задаємо в командному вікні).

```
ETABLE, MXI, SMISC, 4  
ETABLE, MXJ, SMISC, 17  
PLLS, MXI, MXJ
```

9.4. Будуємо епюри згинально-крутних бімоментів.

```
ETABLE, BMI, SMISC, 27  
ETABLE, BMJ, SMISC, 29  
PLLS, BMI, BMJ
```

На рис. 2.4 показаний деформований стан стрижня, епюри згинально-крутних бімоментів, крутних моментів і кутів закручування, отриманих у результаті розрахунку в ANSYS.

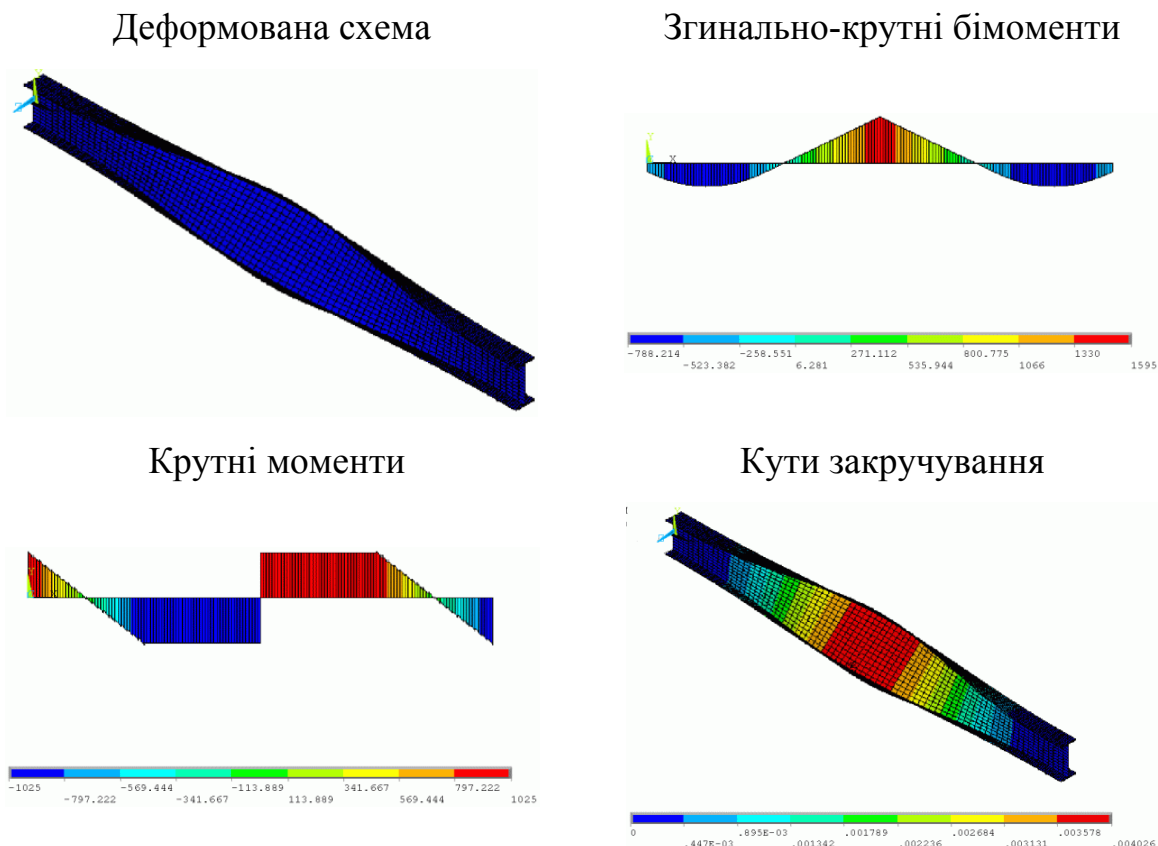


Рис. 2.4

2.2. Розрахунок просторової ферми

Розглянемо кранову ферму (рис. 2.5), навантажену вертикальною силою $F = 100$ кН.

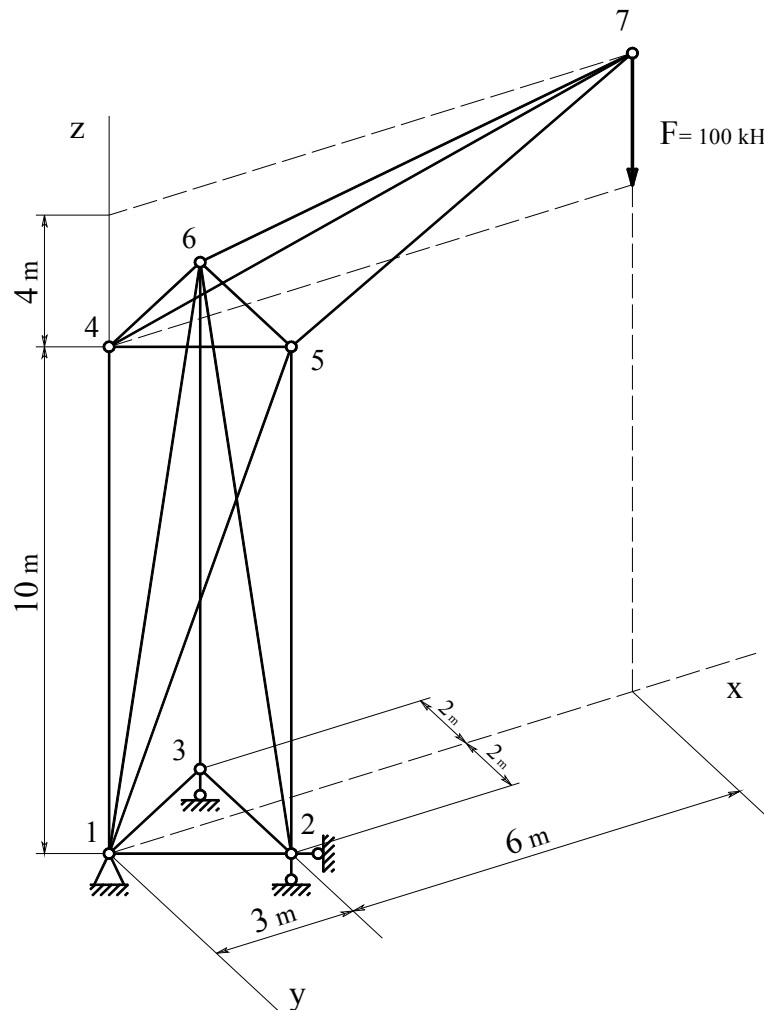



Рис. 2.5

1. Задаємо ключові точки.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS

У вікні *Create Keypoints In Active Coordinate System* у поле *NPT Keypoint number* вводимо номер точки, а її координати – у полях *x*, *y*, *z Location in active CS*. Введення кожної точки завершуємо натисканням **Apply**, а після введення останньої точки – **OK**.

№	1	2	3	4	5	6	7
X	0	3	3	0	3	3	3+6
Y	0	0	0	10	10	10	10+4
Z	0	2	-2	0	2	-2	0

Для перегляду косокутної проекції в правій частині графічного інтерфейсу натискаємо кнопку .

2. З'єднуємо точки лініями.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

Курсором миші попарно виділяємо точки: 1-2; 2-3; 3-1; 1-4; 1-5; 1-6; 2-5; 2-6; 3-6; 4-5; 5-6; 6-4; 4-7; 6-7; 5-7, **OK**.

3. Вибираємо тип скінченного елемента.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add...

У лівім полі вікна, що з'явилося, вибираємо *Link*, у правому – *3D finite stn 180*, **OK, Close**.

4. Задаємо переріз елемента.

Main Menu > Preprocessor > Sections > Link > Add...

У вікні *Add Link Section*, в полі *Add Link Section with ID* вводим порядковий номер перерізу: 1. **OK**. В діалоговому вікні *Add or Edit Link Section*, в полі *Section Name* можливо вказати ім'я перерізу, але це не обов'язково, в полі *Link area* задаємо площу перерізу: 0.1. **OK**.

5. Задаємо властивості матеріалу.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

У правім полі діалогового вікна вибираємо **Structural > Linear > Elastic > Isotropic**

Вводим Модуль пружності та коефіцієнт Пуассона:

EX: 2e11 (модуль пружності);

PRXY: 0.3 (коефіцієнт Пуассона). **OK**.

6. Побудова скінченно-елементної сітки.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо кнопку **Set** поруч із *Lines*. У меню вибору *Element Size on Picked...* вибираємо **Pick All**. У діалоговім вікні *Element Sizes on Picked Lines*, у поле *NDIV No, of element divisions* вводим кількість елементів на кожній лінії: 1. **OK**.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо **Mesh**, у меню вибору *Mesh Lines* – **Pick All**.

Пронумеруємо точки:

Utility Menu > PlotCtrls > Numbering...

У вікні, що з'явилося, у полі *KP Keypoint numbers* ставимо перемикач із положення *Off* в *On*, **ОК**.

Відобразимо лінії:

Utility Menu > Plot > Lines

7. Умови закріплення.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints

Курсом миші виділяємо точку 1, **ОК**. У полі *Lab2 Dofs to be constrained* вибираємо *UX, UY, UZ*, **Apply**. Далі виділяємо точку 2, **ОК**. Вибираємо *UX* і *UY*, **Apply**. І в точці 3 – *UY*, **ОК**.

8. Прикладання зосередженого навантаження.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints

Виділяємо точку 7, **ОК**. У вікні *Apply F/M on Kps*, у полі *Lab Direction of force/mom* вибираємо *FY*. У полі *VALUE Force/moment value* вводимо величину навантаження: -100000. **ОК**.

Виділяємо всю конструкцію:

Utility Menu > Select > Everything

9. Запуск на розв'язок.

Main Menu > Solutions > Solve > Current LS > ОК

Вікно з повідомленням *Solution is done!* свідчить про те, що рішення отримано, **Close**.

10. Читання результатів

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set

Деформована форма

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape

Відзначаємо *Def + undeformed*, **OK** (рис.2.54).

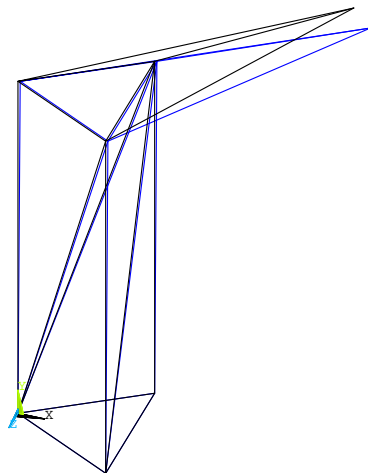


Рис. 2.6

Виведемо епюри зусиль, що виникають у стрижнях (рис. 2.6). В командному вікні введемо команди, які формують таблицю результатів та відображення у графічному вікні. Після введення кожної команди натискаємо **Enter**.

```
ETABLE, FE, SMISC, 1
```

```
PLLS, FE
```

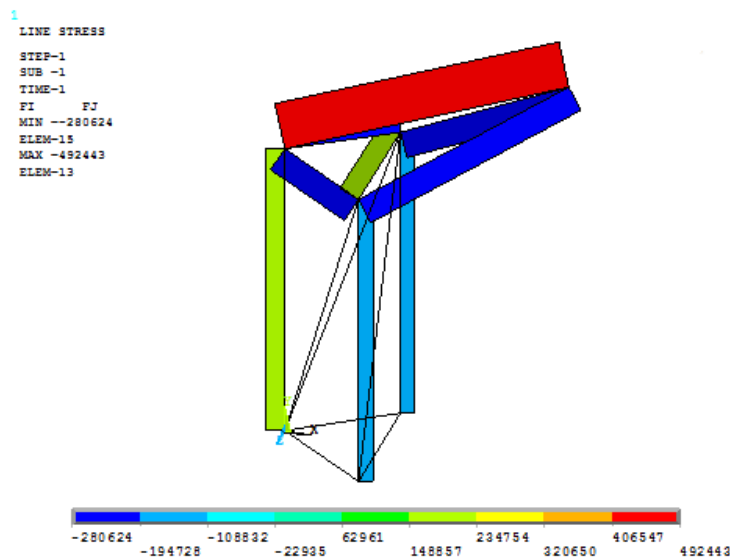


Рис. 2.7

Лістинг зі значеннями зусиль у стрижнях доступний через меню **Main Menu > General Postproc > List Results > Elem Table Data**

У вікні, що з'явилося, вибираємо *FE*. **OK**.

Результати обчислень у програмі наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

№№	7-4	7-5	7-6	4-6	4-5	4-1	5-1
N, kH	578	-362	-362	-318	-318	235	-87
№№	5-2	5-6	6-1	6-2	6-3	3-1	3-2
N, kH	-112	290	87	0	112	0	0

2.3. Аналіз напружено-деформованого стану деталі «Кришка»

Розглянемо моделювання та розрахунок просторової об'ємної деталі (рис. 2.8) під дією рівномірно-розподіленого навантаження. Вихідні данні: $D = 95$ мм; $D1 = 80$ мм; $d = 65$ мм; $d1 = 7$ мм; $d2 = 55$ мм; $R1 = 0.5$ мм; $R2 = 5$ мм; $a = 5$ мм; $b = 13$ мм; $c = 18$ мм.

Дана деталь являється тілом обертання яке симетричне відносно двох осей. В такому випадку (при умові симетричного навантаження) достатньо побудувати чверть деталі та вказати площі симетрії. Спочатку необхідно побудувати площу розрізу (зображено на рис. 2.8 штриховкою), а потім повернути її на 90° . Для побудови отвору потрібно створити циліндр, скопіювати, а потім вирахувати його з деталі.

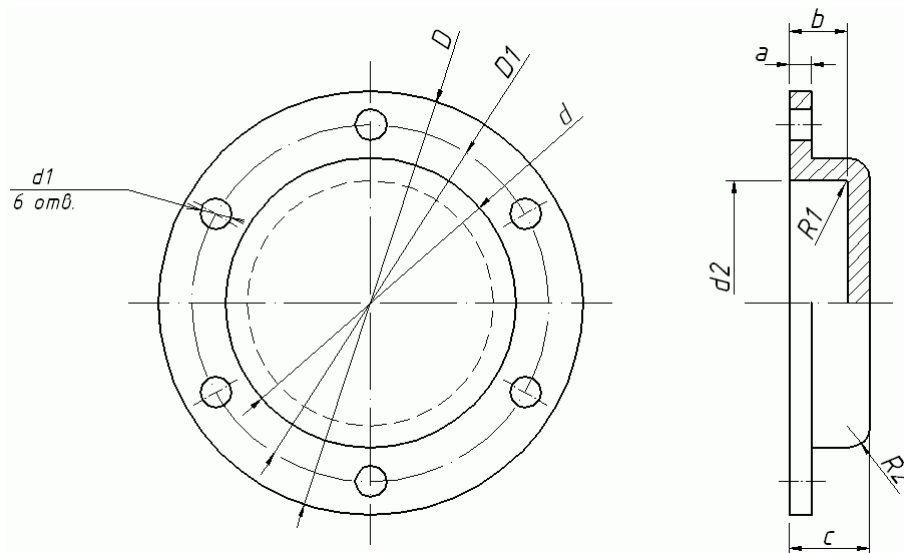


Рис. 2.8

1. Будуємо твердотільну модель

Задаємо ключові точки:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У полі *NPT Keypoint number* вводимо номер точки, у полях *X, Y, Z Location in active CS* – її координати:

№ точки	X	Y	Z
1	13	0	0
2	18	0	0
3	18	32.5	0
4	5	32.5	0
5	5	47.5	0
6	0	47.5	0
7	0	27.5	0
8	13	27.5	0

З'єднуємо точки лініями:

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line

Курсором попарно виділяємо точки: 1 - 2; 2 - 3; 3 - 4; 4 - 5; 5 - 6; 6 - 7; 7 - 8; 8 – 1. **OK**.

Пронумеруємо лінії:

Utility Menu > Plotctrls > Numbering

У рядку *LINE Line numbers* ставимо перемикач із *Off* в *On*, **OK**.

Відобразимо лінії

Utility Menu > Plot > Lines

Побудова лінії скруглення

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Line Fillet

З появою меню вибору *Line Fillet* вибираємо лінії 2 і 3, між якими необхідно побудувати лінію скруглення радіусом R2, **OK**. У діалогові вікні *Line Fillet*, у полі *RAD Fillet radius* водимо величину радіусу дуги скруглення: 5. **Apply**. Аналогічним чином будуємо між точками 7 і 8 дугу радіусом R1 = 0.5.

Побудова площини, обмеженої лініями:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>By Lines

Курсором миші виділяємо всі лінії. **OK**.

Відобразимо площини (рис. 2.9):

Utility Menu > Plot > Areas

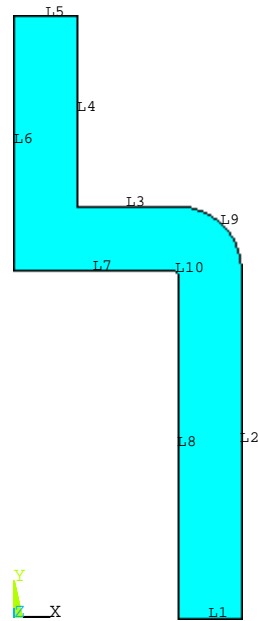


Рис. 2.9

Побудова об'єму за допомогою обертання площини.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Extrude>Areas>About Axis

Курсором «миші» виділяємо площу. **ОК**. Потім виділяємо дві ключові точки 1 і 2, які визначають вісь обертання площі. **ОК**. У діалогові вікні *Sweep Areas about Axis* у рядку *ARC Arc length in degrees* вводимо кут, на який необхідно повернути площину: 90. **ОК** (рис. 2.10).

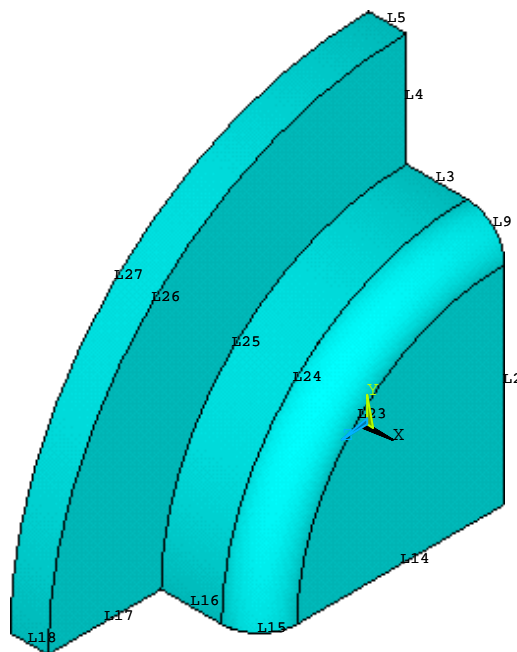


Рис. 2.10

Для побудови циліндру необхідно повернути робочу площину на 90° навколо осі Y так, як основа циліндру буде лежати у робочій площині.

Utility Menu > Workplane > Offset WP by Increments...

Виставляємо бігунок *Degrees* на 90° і натискаємо кнопку . **OK.**

Будуємо циліндр

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Solid Cylinder

У вікні *Solid Cylinder* вводимо наступні параметри:

WPX: 0; *WPY*: 40 (координати центру основи циліндра в робочій площині);

Radius: 3.5 (радіус циліндра);

Depth: 5 (висота циліндра). **OK.**

Для копіювання циліндру необхідно зробити робочу площину полярною та активувати її.

Utility Menu > Workplane > WP Settings...

У панелі *WP Settings* вибраємо тип системи координат робочої площини *Polar*. **OK.**

Utility Menu > Work Plane > Change Active CS to > Working Plane

Копіюємо циліндри

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes

Курсором вибираємо циліндр. **OK.** У полі *Number of copies* вводимо кількість копій: 2, а в полі *DY Y-offset in active CS* – величину кута 60° .

Вирахуємо циліндри

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Volumes

При відкритті вікна *Subtract Volumes* вибраємо об'єм деталі, **OK.** Потім вибраємо 2 циліндри. **OK.**

2. Побудова скінчено-елементної сітки

Задаємо тип елемента.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add...

У вікні *Library of Element Types* вибираємо елемент *Solid Brick 8 node 185*. **OK. Close.**

Завдання властивостей матеріалу.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

У правім полі вікна вибираємо **Structural > Linear > Elastic > Isotropic**. У вікні *Linear Izotropic...* вводимо модуль Юнга й коефіцієнт Пуасона: $E_X - 2e5$; $PRXY - 0.3$. **OK.**

Задамо щільність сітки.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо кнопку **Set** поруч із *Global*. У полі *SIZE Element edge length* вводимо довжину ребра елемента: 2. **OK.**

Будуємо сітку.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool*, натискаємо **Mesh**, потім у вікні, що з'явилося, – **Pick All**. Отримане зображення показано на рис. 2.11.

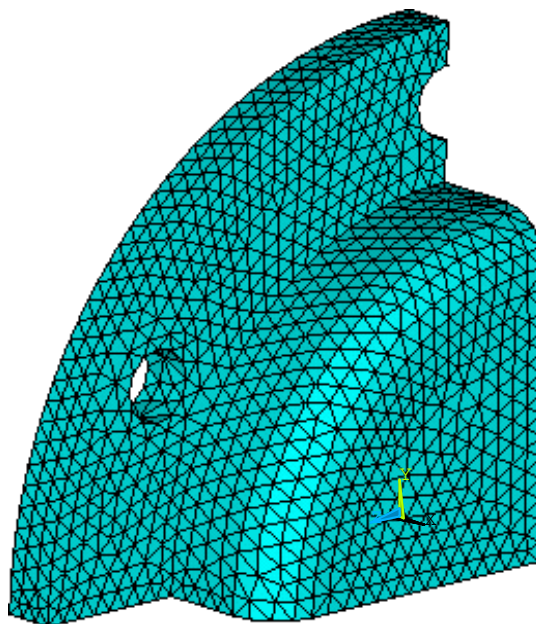


Рис. 2.11

3. Завдання умов закріплення.

Main Menu>Solution>Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas

Курсором миші виділяємо 4 поверхні отворів, **ОК**. У полі *Lab2 Dofs to be constrained* вибираємо *ALL DOF*, **ОК**.

Вказуємо площі симетрії деталі.

Main Menu>Solution>Define Loads > Apply > Structural > Displacement > Symmetry B.C. > On Areas

Курсором вибираємо площі симетрії деталі, **ОК**.

4. Прикладення розподіленого навантаження.

Main Menu>Solution>Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Areas

Вибираємо верхню площу кришки **ОК**. У полі *VALUE Load PRES value* вводимо величину навантаження: 10. **ОК**.

5. Запуск на розв'язок.

Main Menu > Solutions > Solve > Current LS > ОК

Закриваємо вікно з повідомленням *Solution is done*, Close.

6. Перегляд результатів розрахунків.

Зчитуємо результати:

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set

Деформована форма.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Defomed Shape.

Відзначаємо *Def + undef edge*. **ОК**.

Переміщення вздовж осі X.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu

У вікні *Contour Nodal Solution Data*, у папці *DOF Solution*, вибираємо *X-Component of displacement*. **ОК** (рис. 2.12).

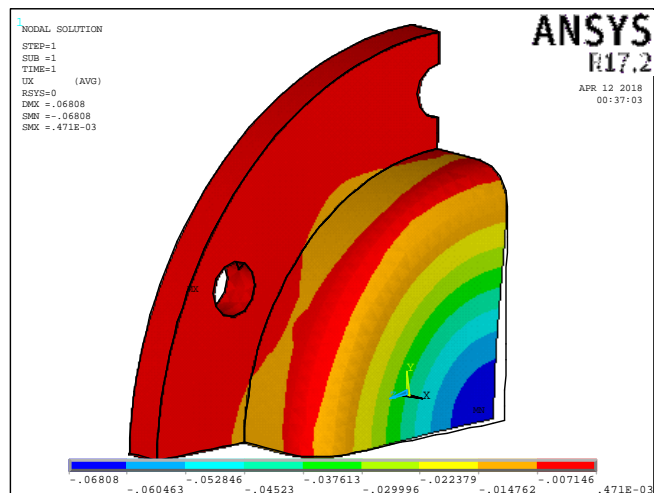


Рис. 2.11

Еквівалентні напруження.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu

У вікні *Contour Nodal Solution Data*, у папці *Stress*, вибираємо *von Mises stress*. **OK** (рис. 2.12).

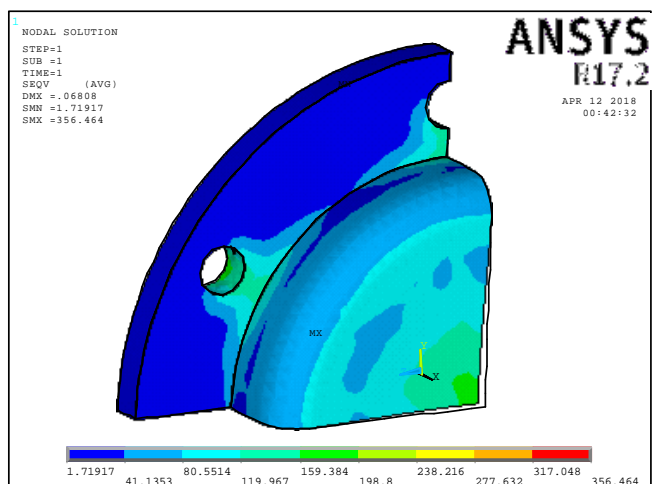


Рис. 2.12

Скористаймося іншим меню для виводу еквівалентних напружень.

Main Menu > General Postproc > Result Viewer

В панелі *Result Viewer* (рис. 2.13) вибираємо *stress > von Mises stress*, а потім натискаємо кнопку **Plot Results**.

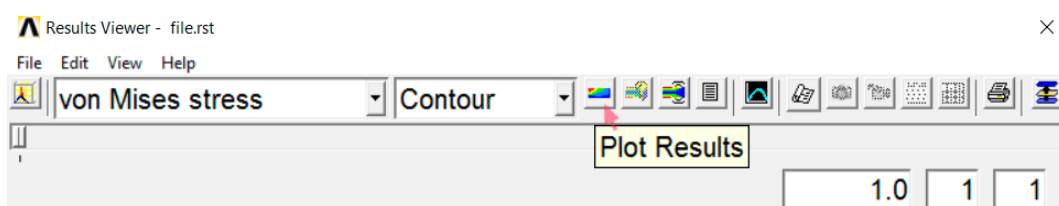



Рис. 2.13

Зображення аналогічне отриманому раніше але завдяки цьому меню можливо відобразити на рисунку величини напружень у числовій формі. Для цього натисніть кнопку . В меню вибору ввімкніть опцію *generate 3D Anno* (при ввімкненій опції інформація збережеться на екрані, інакше зникне при закритті вікна). Курсором вкажіть декілька точок на моделі. **ОК** (рис. 2.14).

Для того щоб вийти з цього режиму необхідно закрити панель *Result Viewer*.

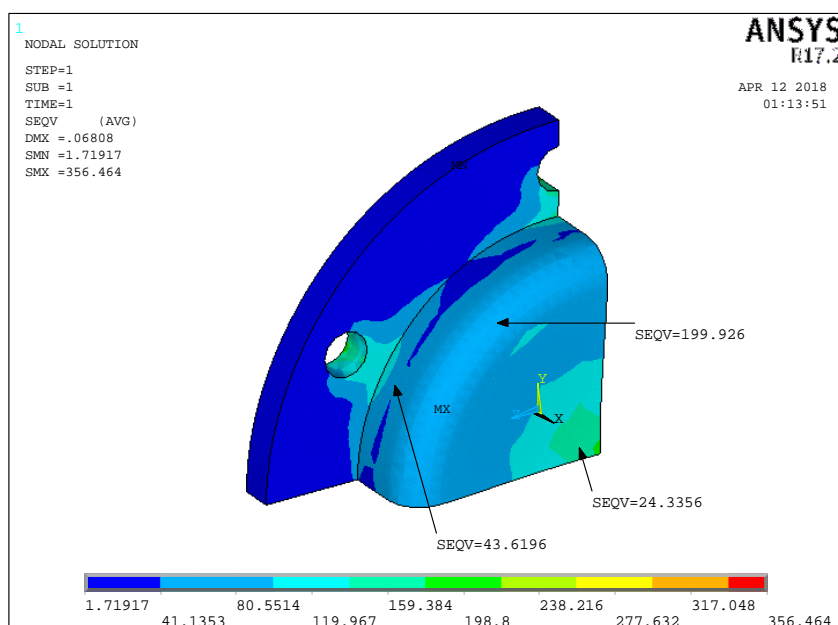


Рис. 2.14

2.4. Плоско-просторові системи

Розглянемо затиснену плоско-просторову систему (рис. 2.15).

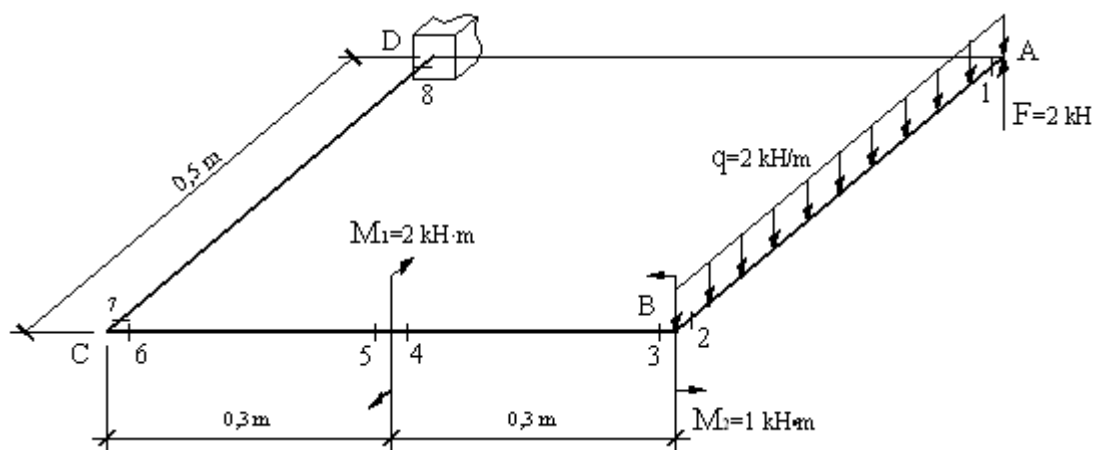


Рис. 2.15

Обмежимося обліком тільки моментних внутрішніх силових факторів, що згинають і крутних моментів, епюри яких показані на рис. 2.16.

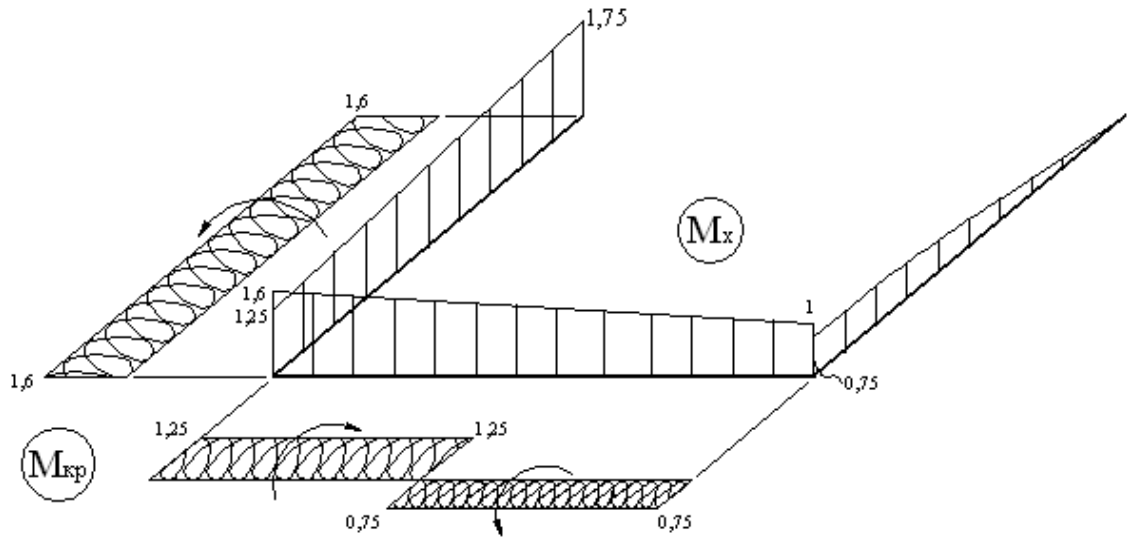


Рис. 2.16

Переміщення будь-якої крапки плоско-просторової системи легко обчислюється способом Верещагіна з використанням відповідних одиничних епюр згинаючих і крутних моментів (рис. 2.17, 2.18, 2.19).

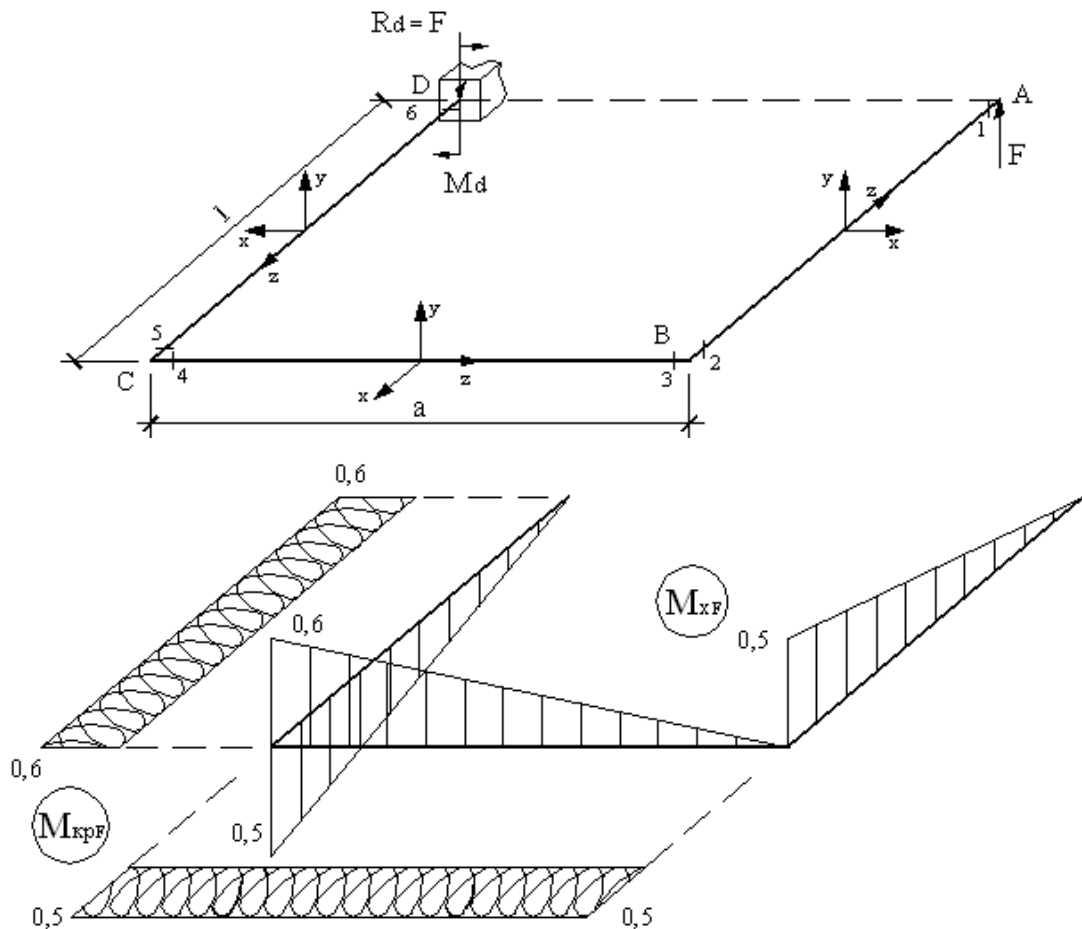


Рис. 2.17

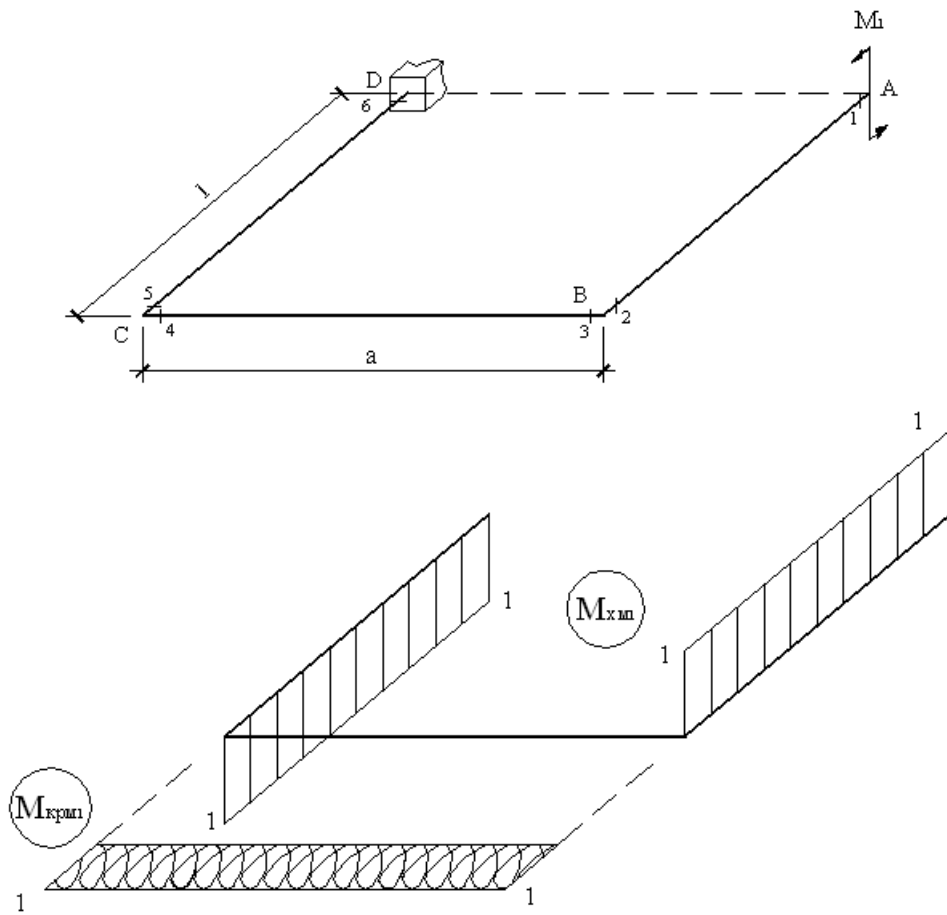


Рис. 2.18

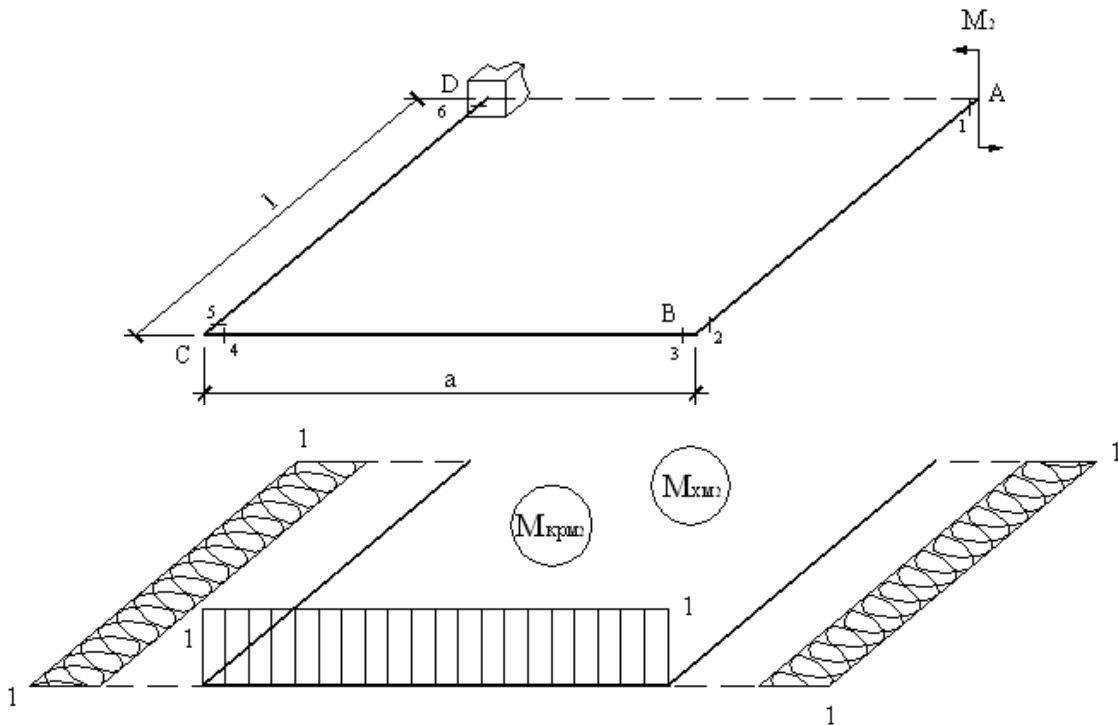


Рис. 2.19

Так, для визначення вертикального переміщення т. A перемножуються способом Верещагіна епюри рис.2.11 і рис.2.12, для визначення кутів

поворотів розтину в т. A навколо осі x перемножуються епюри рис.2.11 і рис.2.13, а навколо осі v — епюри рис.2.11 і рис.2.14.

Тут був прийнятий постійний прямокутний розтин усіх елементів висотою $h = 0,08$ м; і шириною $b = 0,02$ м; матеріал — сталь із модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

Приведемо алгоритм розв'язку завдання в ANSYS:

1. Задаємо геометричні параметри рами.

Utility Menu > Parameters > Scalar Parameters...

У поле *Selection* уводимо параметри, які будуть використовуватися в розрахунках. Після введення кожної константи натискаємо **Accept**.

$A = 0.5$

$b = 0.3$

$q = 2000$!Розподілене навантаження.

$M1 = 2000$!Зосереджений момент

$M2 = 1000$!Зосереджений момент

$F = 2000$!Зосереджена сила

$B1 = 0.02$!Ширина розтину

$H1 = 0.08$!Висота розтину


Закриваємо вікно натисканням **Close**.

2. Задаємо крапки, що визначають форму рами.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У поле *NPT Keypoint number* уводимо номер крапки, у полях X , Y , Z *Location in active CS* — її координати. Після введення кожної крапки натискаємо **Apply**, після введення останньої — **OK**.

№ крапки	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	0	a
3	b	0	a
4	2 * b	0	a
5	2 * b	0	0

Переглянемо отримане зображення в ізометричній проекції. Для цього в правій частині графічного інтерфейсу натискаємо кнопку .

3. З'єднуємо крапки лініями.

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line

Попарно з'єднуємо крапки: 1 і 2; 2 і 3; 3 і 4; 4 і 5. **ОК.**

4.Вибираємо тип кінцевого елемента.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add...

У лівім полі вікна, що відкрилося, *вибираємо Beam*, у правом — *3 node 189*. **ОК.** У вікні Element Types натискаємо кнопку **Options**.

У вікні *BEAM 189 element type options* вибираємо такі опції:

Warping degree of freedom K1 – вибираємо *Restrained*,

Cross section scaling is K2 – вибираємо *Rigid (classic)*

Shear stress output K4 – вибираємо *Include Both*, **ОК, Close**.

5. Задаємо властивості матеріалу.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

У правім полі вікна, що відкрилося, подвійним натисканням лівої кнопки «миші» вибираємо

Structural > Linear > Elastic > Isotropic

У наступнім вікні вводимо модуль пружності й коефіцієнт Пуассона:

$E_X - 2e11$ $PRXY - 0.3$ **ОК.**

6.Вибираємо поперечний переріз.

Main Menu > Preprocessor > Sections > Beam > Common Sections

У вікні *Beam Tool* задаємо наступні параметри (рис.2.15). **ОК.**

7.Задаємо крапки орієнтації розтину

Main Menu>Preprocessor>Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

Будуємо такі крапки:

6(0; H1; a/2); 7(b/2; H1; a); 8(B + B / 2; H1; a); 9(2 * B; H1; a/2)

Пронумеруємо крапки й лінії:

Utility Menu > PlotCtrls > Numbering...

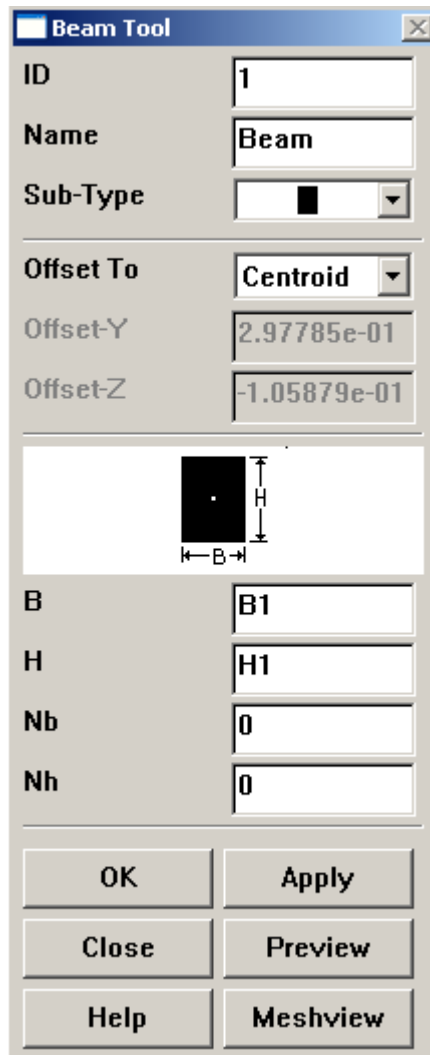


Рис. 2.20

У рядках *KP Keypoint numbers* і *LINE Line numbers* ставимо перемикач із *Off* в *On*. **OK**.

Відобразимо усе:

Utility Menu > Plot > Multi-Plots

8. Привласнимо лініям атрибути з відповідної їм крапкою орієнтації розтину.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines

Курсором «миші» виділяємо лінію 1. **OK**. У вікні *Line Attributes* у рядку *Pick Orientation Keypoint(s)* ставимо перемикач із *No* в *Yes*. **OK**. З появою вікна *Line Attributes* виділяємо крапку 6. **Apply**. Проробляємо те ж саме з іншими лініями. Для лінії 2 крапкою орієнтації є крапка 7, для лінії 3 – крапка 8 і для лінії 4 – крапка 9.

9. Будуємо кінцево-елементну сітку.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо кнопку **Set** поруч із *Lines*. Курсором виділяємо лінії 1 і 4. **OK**. У вікні *Element Sizes on Picked Lines* у рядку *NDIV No, of element divisions* уводимо кількість розбивок на лінії: 10, **Apply**. Потім виділяємо лінії 2 і 3, **OK**. У рядку *NDIV No, of element divisions* уводимо кількість розбивок: 5.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо **Mesh**. У вікні *Mesh Lines – Pick All*.

Відобразимо лінії:

Utility Menu > Plot > Lines

10. Задаємо умови закріплення.

Main Menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural>Displacement> On Keypoints

З появою вікна *Apply U, ROT on Kps* курсором виділяємо крапку 1. **OK**. У вікні *Apply U, ROT on Kps* вибираємо *All DOF*. **OK**.

11. Прикладаємо зосереджену силу й моменти.

Main Menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural>Force/Moment>On Keypoints

Виділяємо крапку 3. **OK**. У вікні *Apply F/M on Kps* вибираємо *MX*, у рядку *VALUE Force/Moment value* уводимо величину моменту: - *M1*. **Apply**. Потім виділяємо крапку 4. **OK**. Вибираємо *MZ* і вводимо величину моменту: *M2*. **Apply**. Для додатка зосередженого навантаження виділяємо крапку 5. **OK**. Вибираємо *FY*, у поле *VALUE* уводимо: *F*. **OK**.

12. Прикладаємо розподілене навантаження.

Main Menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural>Pressure>On Beams

Виділяємо елементи, розташовані на лінії 4. **OK**. У полях *VAL I, VAL J* уводимо величину розподіленого тиску: *q*. **OK**.

Виділяємо всю конструкцію:

Utility Menu > Select > Everything

13. Запуск на розв'язок.

Main Menu > Solution > Solve > Current LS > OK

14. Висновок результатів.

Зчитуємо результати:

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set

Прорисовуємо деформовану форму:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape

У вікні *Plot Deformed Shape* вибираємо *Def + undeformed*. **OK**.

Відобразимо тривимірну модель (рис. 2.21):

Utility Menu > Plotctrls > Style > Size and Shape...

У вікні *Size and Shape* у рядку *[/ESHAPE] Display of element* ставимо перемикач із *Off* в *On*. **OK**.

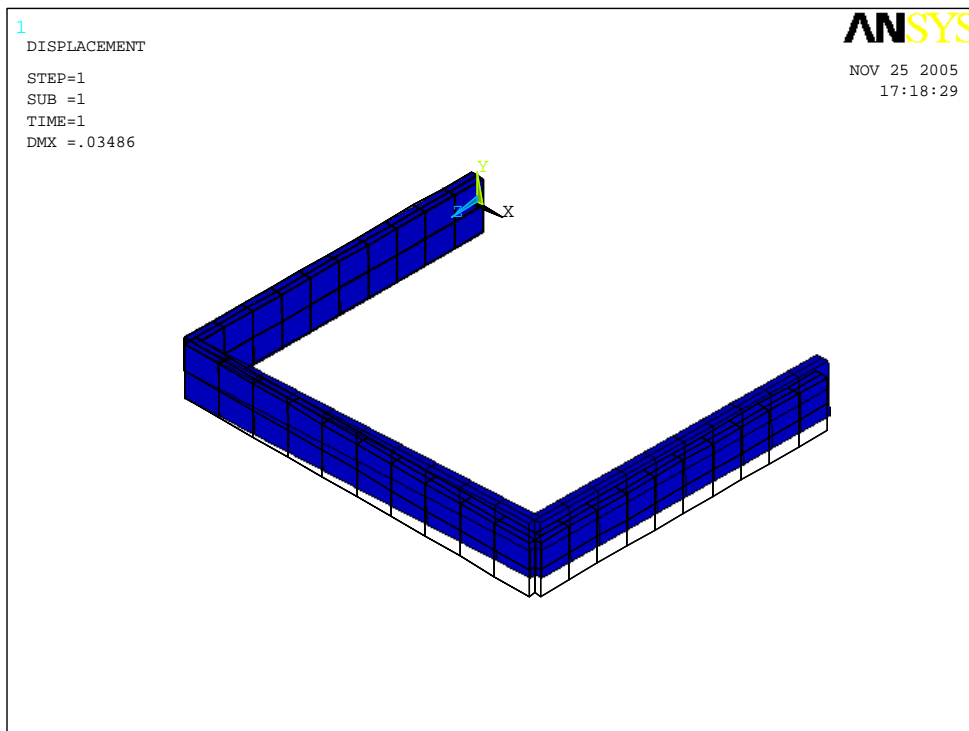


Рис. 2.21

Формуємо таблицю висновку результатів:

Main Menu > General Postproc > Element Table > Define Table > Add...

У поле *Lab User label for item* вводимо ім'я виведеного результату: *MXI*.
У рядку *Item, Comp Results data item* у лівім полі вибираємо *By sequence num*,
у правом – *SMISC*. Нижче в рядку вводимо *SMISC, 4*. **Apply** (рис. 2.22).

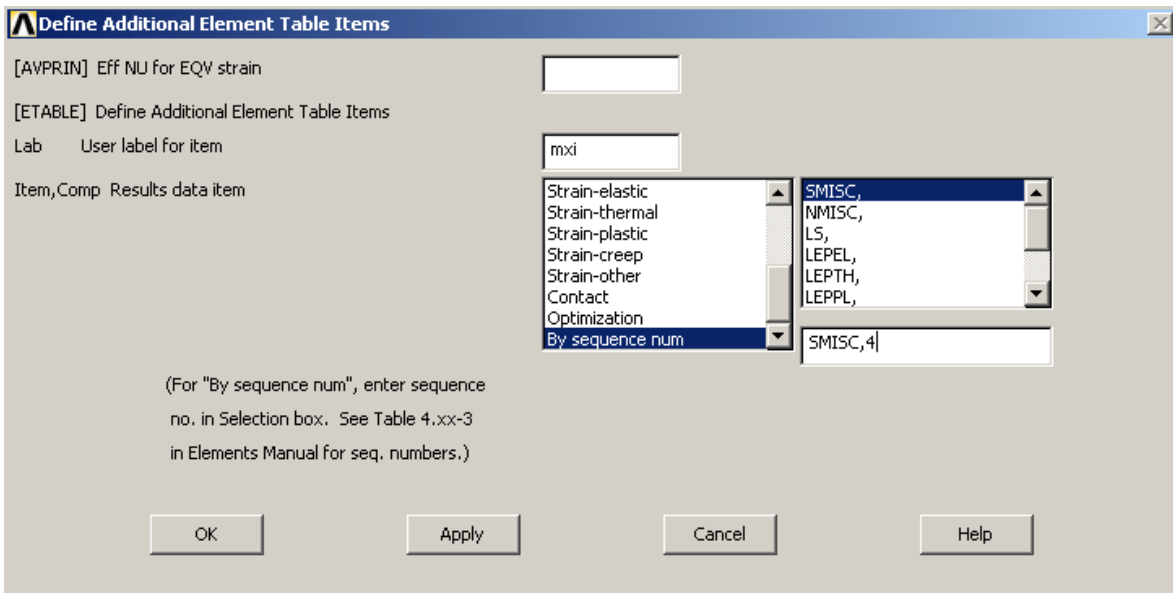


Рис. 2.22

Проробляючи ті ж операції, необхідно ввести:

MXJ, SMISC, 17

MYI, SMISC, 2

MYJ, SMISC, 15 **OK.**

Таблиця результатів має вигляд (рис. 2.23). Закриваємо вікно, натискаючи **Close.**

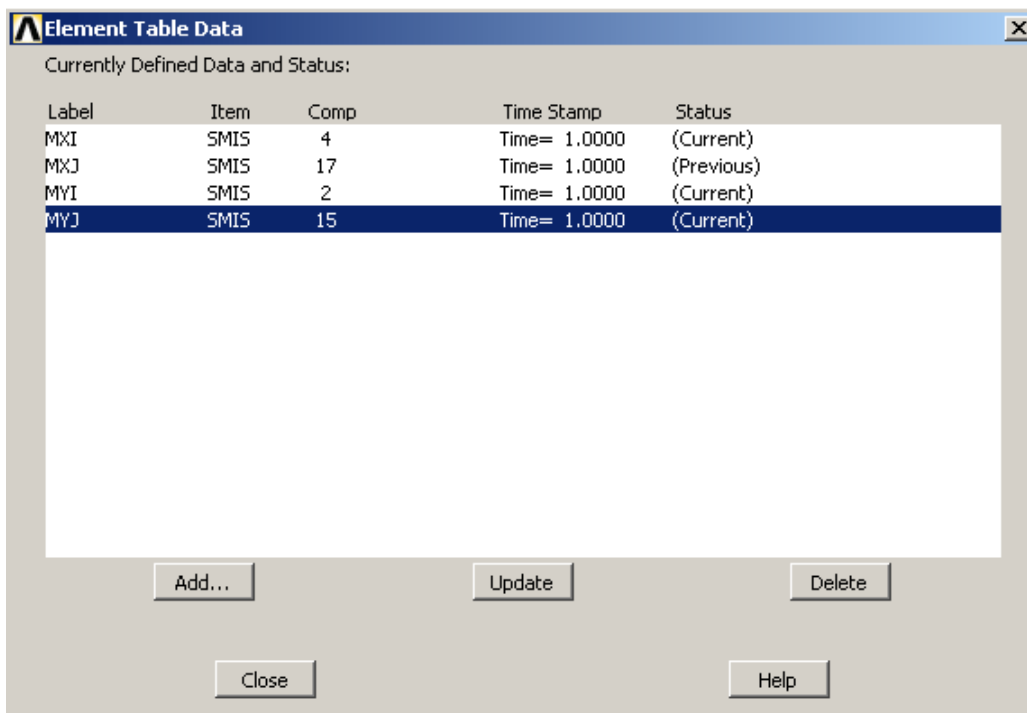


Рис. 2.23

Виводимо епюри:

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Line Elem Res

У вікні *Plot Line-Element Results* у рядках *Lab I*, *Lab J* відповідно вибираємо *MXI*, *MXJ*. **OK**. Аналогічно виводимо *MYI*, *MYJ* (рис. 2.24).

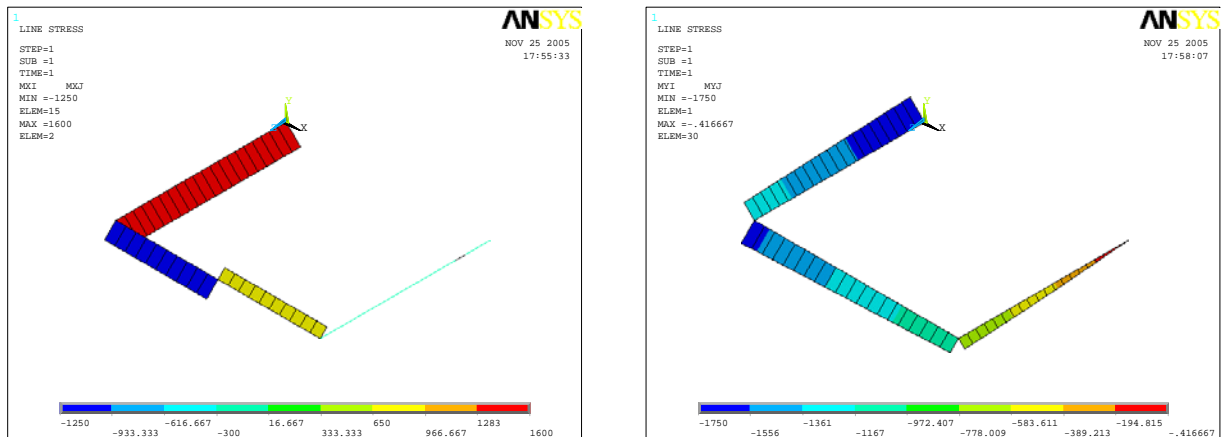


Рис. 2.24

Пронумеруємо елементи:

Utility Menu > PlotCtrls > Numbering...

У рядку *Elem/Attrib numbering* вибираємо *Element numbers*. **OK**.

Відобразимо елементи:

Utility Menu > Plot > Elements

Висновок результатів поелементно у вигляді лістингу:

Utility Menu > List > Results > Element Table Data...

У вікні, що з'явилося, вибираємо *MXI*, *MXJ*, *MYI*, *MYJ*. **OK**.

2.5. Кругові й параболічні арки

У сучасній техніці й будівництві знайшли широке застосування криволінійні стрижні у вигляді дуг окружності, квадратної або кубічної параболи і т.д. У літературі приводяться розв'язки різних завдань плоского деформування криволінійних стрижнів у вигляді дуг окружності з обліком тільки деформації вигину. В 1938 р. проф. Н.К. Снитко одержав розв'язок завдання плоского деформування кругового стрижня з урахуванням деформації вигину й розтягання для частки випадку навантаження $qy = q = const$, $qx = 0$. Відсутність достатня повного аналітичного розв'язку завдання плоского деформування кругового стрижня сприяло тому, що в ряді відомих

робіт рекомендується замінити криволінійні стрижні набором прямолінійних стрижнів. Однак така модель досить добре відбиває поведінку криволінійного стрижня тільки при великій кількості замінюючих стрижнів. Показане, що погрішність полігональної апроксимації кругового стрижня не перевищує 1 %, якщо прямолінійний стрижень стягає дугу криволінійного стрижня приблизно в 5 градусів.

Виходячи із цих міркувань, кільце може бути апроксимировано правильним багатокутником з 72 стрижнів, а кругова арка – сектор в 90 градусів – 18 стрижнями. Подальший розрахунки такої стрижневої системи може бути виконаний методом сил, методом кінцевих елементів і ін.

Суттєво знизити трудомісткість розрахунків, спростити алгоритм, підвищити вірогідність результатів можна при наявності фундаментальних розв'язків відповідних диференціальних рівнянь плоского деформування кругового стрижня.

Для побудови розв'язних співвідношень ухвалюємо левовинтову систему координат зі спрямованою вниз віссю oy (рис. 2.25), де показані позитивні напрямки навантаження й внутрішніх силових факторів.

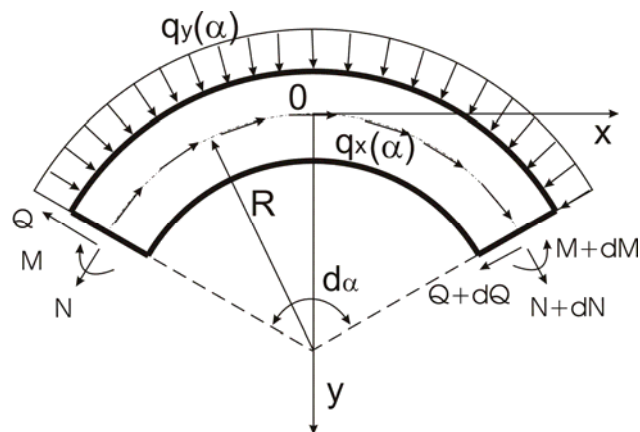


Рис. 2.25

Рівновага елемента ds (рис. 2.25) приводить до наступних рівнянь статyki:

$$\frac{dN}{d\alpha} = Q - q_x(\alpha) \cdot R; \quad \frac{dQ}{d\alpha} = -N - q_y(\alpha) \cdot R; \quad \frac{dM}{d\alpha} = Q \cdot R,$$

де α – кутова координата.

Принцип подвійності статичних і геометричних рівнянь дозволяє одержати вираження для деформацій осі кругового стрижня

$$\varepsilon = \frac{1}{R}[U'(\alpha)]; \quad \varkappa = \frac{1}{R} \left\{ \frac{1}{R}[U'(\alpha) + V''(\alpha)] - \gamma'(\alpha) \right\},$$

де ε – деформація розтягання-стиску; \varkappa – кривизна після деформування; $-\gamma(\alpha)$ деформація зрушення; $U(\alpha), V(\alpha)$ – переміщення крапок осі в напрямках дотичній і нормалі (поздовжнє й поперечне переміщення).

Для кругового стрижня виконується також геометричне співвідношення

$$\varphi(\alpha) = -\gamma(\alpha) + \frac{1}{R}[U(\alpha) + V'(\alpha)],$$

де $\varphi(\alpha)$ – кут повороту розтину.

Фізичні рівняння зв'язку між напругами й деформаціями будуть такими ж, як і для прямолінійного стрижня:

$$\varepsilon = \frac{N}{EA}; \quad \varkappa = -\frac{M}{EI}; \quad \gamma = k \frac{Q}{GA}.$$

Набір рівнянь свідчить про модель твердого кругового стрижня з допущеннями:

1. Застосовності гіпотези плоских нормалей.
2. Недеформируемости поперечного переріза при нагривненні.
3. Малості кривизни ($R/h \geq 5$) й деформацій.

Урахувати деформацію зрушення досить важко, тому ухвалюємо $\gamma(\alpha) = 0$. Виражаючи нормальну $N(\alpha)$ й поперечну $Q(\alpha)$ сили через переміщення $U(\alpha), V(\alpha)$ й підставляючи їх у рівняння рівноваги, одержимо зв'язану систему диференціальних рівнянь плоского деформування кругового стрижня в переміщеннях

$$V^{IV}(\alpha) + \frac{EAR^2}{EI}V(\alpha) + U'''(\alpha) - \frac{EAR^2}{EI}U'(\alpha) = \frac{R^4}{EI}q_y(\alpha);$$

$$\left(1 + \frac{EAR^2}{EI}\right)U''(\alpha) + V'''(\alpha) - \frac{EAR^2}{EI}V'(\alpha) = -\frac{R^4}{EI}q_x(\alpha),$$

де перше рівняння відповідає вигину, а друге – розтягання кругового стрижня. З аналізу рівнянь випливають два висновки:

1. Якщо зневажити деформаціями зрушення й розтягання, те $U'(\alpha) = V(\alpha)$, і система рівнянь розпадається на два незалежні рівняння.
2. Якщо $q_x(\alpha) = 0$, то система рівнянь може бути зведена до одному рівнянню шостого порядку.

Повний розв'язок системи рівнянь наведене в літературі. У матричній формі воно має вигляд

$$\begin{pmatrix} EIV(\alpha) \\ EI\varphi(\alpha) \\ M(\alpha) \\ Q(\alpha) \\ EAU(\alpha) \\ N(\alpha) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & -A_{13} & -A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ & A_{22} & -A_{23} & -A_{13} & & A_{26} \\ & & A_{22} & A_{12} & & -A_{36} \\ & & & A_{11} & & -A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & -A_{53} & -A_{54} & A_{11} & A_{56} \\ & & & -A_{64} & & A_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} EIV(0) \\ EI\varphi(0) \\ M(0) \\ Q(0) \\ EAU(0) \\ N(0) \end{pmatrix} + \int_0^\alpha \begin{pmatrix} B_{11} \\ B_{21} \\ -B_{31} \\ -B_{41} \\ -B_{51} \\ -B_{61} \end{pmatrix} d\xi,$$

де компоненти матриць – фундаментальні ортонормированые функції й вантажні елементи – представлені в [3].

Побудувати епюри M, Q, N кругового стрижня при $R = 30$ м.

	1	2	3	4	5	6				
1			-A ₁₃	-A ₁₄		A ₁₆	$EIV_{(0)}^{0-1} = 0; EI\varphi_{(\ell)}^{0-1}$	$EIV_{(\ell)}^{0-1} = 0$	3	-B ₁₁
2	-1		-A ₂₃	-A ₁₃		A ₂₆	$EI\varphi_{(0)}^{0-1} = 0; Q_{(\ell)}^{0-1}$	$EI\varphi_{(\ell)}^{0-1}$	1	-B ₂₁
3			A ₂₂	A ₁₂		-A ₃₆	$M_{(0)}^{0-1}$	$M_{(\ell)}^{0-1} = 0$	4	B ₃₁
4		-1		A ₁₁		-A ₄₆	$Q_{(0)}^{0-1}$	$Q_{(\ell)}^{0-1}$	2	B ₄₁
5			-A ₅₃	-A ₅₄		A ₅₆	$EAU_{(0)}^{0-1} = 0; N_{(\ell)}^{0-1}$	$EAU_{(\ell)}^{0-1} = 0$	6	B ₅₁
6				-A ₆₄	-1	A ₁₁	$N_{(0)}^{0-1}$	$N_{(\ell)}^{0-1}$	5	B ₆₁

Переставляючи рядка матриць A, U в новому порядку, як показано цифрами праворуч, методом Гаусса визначаємо граничні параметри з обліком і без обліку деформації розтягання. Останні зведені в табл. 2.2. Там же наведені результати розрахунків по методу сил, де коефіцієнти канонічних рівнянь обчислювалися з урахуванням деформацій вигину, зрушення й розтягання.

Аналіз даних табл. 2.2 показує, що результати МГЭ з урахуванням деформації розтягання збігаються з 3-мя значущими цифрами точного розв'язку, а точність результатів МГЭ без обліку деформації розтягання теж достатньо висока, хоча збігаються тільки 2 значущі цифри, тобто вплив деформацій зрушення й розтягання при заданих геометричних співвідношеннях стрижня невелике. Епюри M , Q , N представлені на мал. 2.26.

Таблиця 2.2

Граничні параметри	Метод сил	МГЭ з урахуванням деформації розтягання	МГЭ без обліку деформації розтягання
$EI\varphi_{(\ell)}^{0-1}$	--	$-0,030772 FR^2$	$-0,030582 FR^2$
$Q_{(\ell)}^{0-1}$	$-0,125192 F$	$-0,125018 F$	$-0,124306 F$
$M_{(0)}^{0-1}$	$0,137860 FR$	$0,137981 FR$	$0,138437 FR$
$Q_{(0)}^{0-1}$	$-0,531752 F$	$-0,531995 F$	$-0,532971 F$
$N_{(\ell)}^{0-1}$	$-0,686294 F$	$-0,686474 F$	$-0,687190 F$
$N_{(0)}^{0-1}$	$-0,548434 F$	$-0,548494 F$	$-0,548753 F$

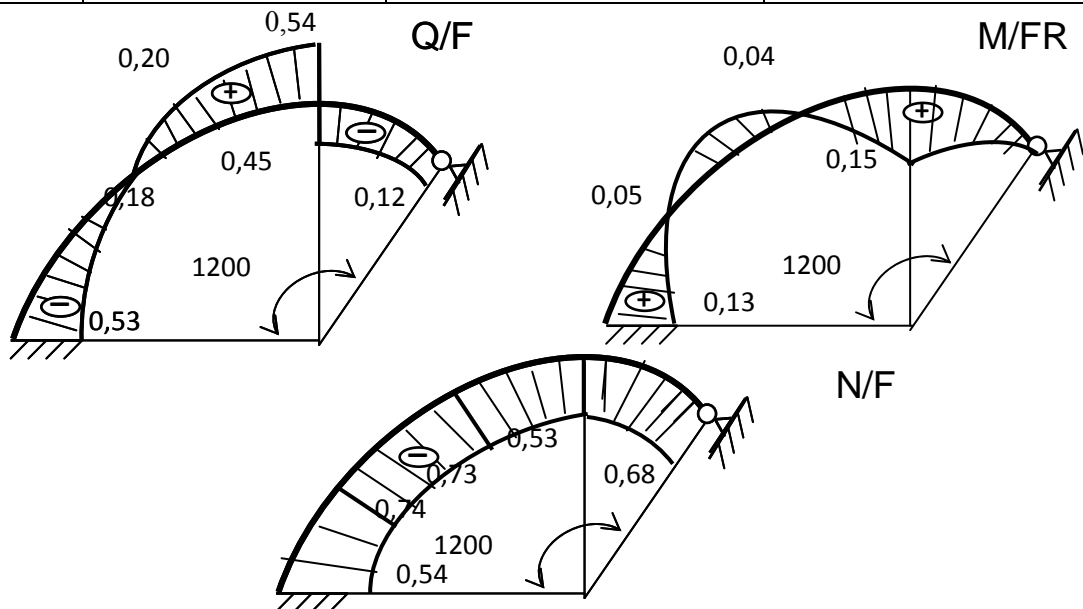


Рис. 2.26

Даний приклад показує, що рівняння МГЭ може бути використаний як еталонний розв'язок завдання плоского деформування твердого кругового стрижня. Практичне застосування воно може знайти й у розрахунках

стрижневих систем, що мають криволінійні стрижні. Особливості розрахунків таких систем будуть полягати в складанні рівнянь рівноваги й спільності переміщень вузлів, де сходяться криволінійні й прямолінійні стрижні. Рівняння зв'язку граничних параметрів будуть мати більш складний вид, чому такі ж рівняння прямолінійних стрижнів.

На закінчення приведемо алгоритм розв'язку завдання в програмі ANSYS:

1. Вибираємо тип елемента.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add...

У вікні *Library of Element Types* вибираємо *Beam 2D elastic 3*. **OK**. У вікні *Element Types* натискаємо **Options...** У поле *Output at extra intermed pts K9* вибираємо *9 intermed pts*. **OK, Close**.

2. Задаємо реальні константи елемента.

Main Menu > Preprocessor>Real Constants>Add/Edit/Delete>Add...> OK

У вікні *Real Constants for BEAM 3* уводимо площу поперечного перерізу (*AREA*), момент інерції (*IZZ*) і висоту розтину (*HEIGHT*).

$AREA : 3.14 * 0.4^{**}2 / 4$

$IZZ : (3.14 * 0.4^{**}4) / 64$

$HEIGHT - 0.4$ **OK, Close**.

3. Задаємо властивості матеріалу.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

У вікні, що з'явилося, вибираємо:

Structural > Linear > Elastic > Isotropic

Уводимо модуль пружності *EX* і коефіцієнт Пуассона *PRXY*:

$EX - 2e11$

$PRXY - 0.3$ **OK**.

Переходимо в циліндричну систему координат.

Utility Menu > Workplane > Change Active CS to > Global Cylindrical

4. Будуємо кінцево-елементну модель.

Переходимо в командний режим.

n, 1, 30, 180 !Задаємо основні вузли

n, 25, 30, 60

fill, 1, 25, 23 !Задаємо проміжні вузли на кожній ділянці

*do, i, 1, 24 !Визначаємо елемент BEAM 3 на кожній ділянці

e, i, i + 1

*enddo

5. Задаємо умови закріплення.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes

Виділяємо вузол 1. **ОК.** У вікні, що з'явилася, *Apply U, ROT on Nodes* вибираємо **All DOF**. **Apply.** Потім виділяємо вузол 25. **ОК.** У вікні, що з'явилася, вибираємо **UX i UY**. **ОК.**

6. Прикладаємо зосереджене навантаження.

Main Menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural > Force/Moment > On Nodes

Вибираємо вузол 19. **ОК.** У вікні *Apply F/M on Nodes* у рядку *Lab Direction of force/mom* вибираємо **FY**, у поле *VALUE Force/moment value* уводимо величину навантаження: - 1. **ОК.**

Виділяємо всю конструкцію:

Utility Menu > Select > Everything

7. Запуск на розв'язок.

Main Menu > Solution > Solve > Current LS > ОК

8. Висновок результатів.

Зчитуємо результати:

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set

8.1. Деформована форма.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape

У вікні *Plot Deformed Shape* вибираємо **Def + undeformed**. **ОК** (мал. 2.27).

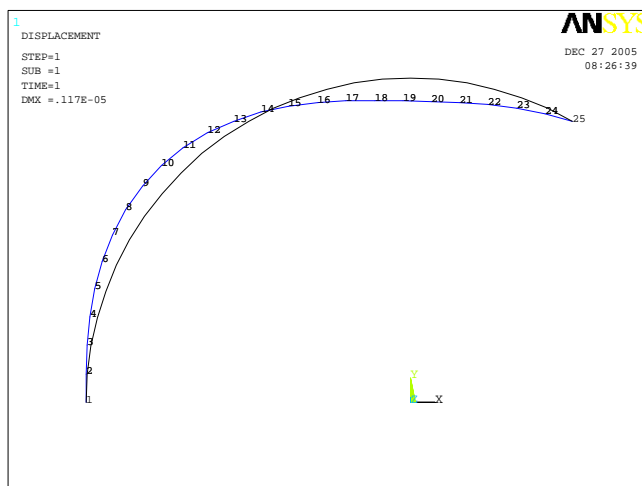


Рис. 2.27

8.2. Епюри поздовжніх сил.

Переходимо в командний режим *ANSYS Command Prompt*.

ETABLE, NXI, SMISC, 1 !Таблиця значень поздовжньої сили у вузлі і

ETABLE, NXJ, SMISC, 61 !Таблиця значень поздовжньої сили у вузлі j

PLLS, NXI, NXJ !Графічний висновок (мал. 2.28).

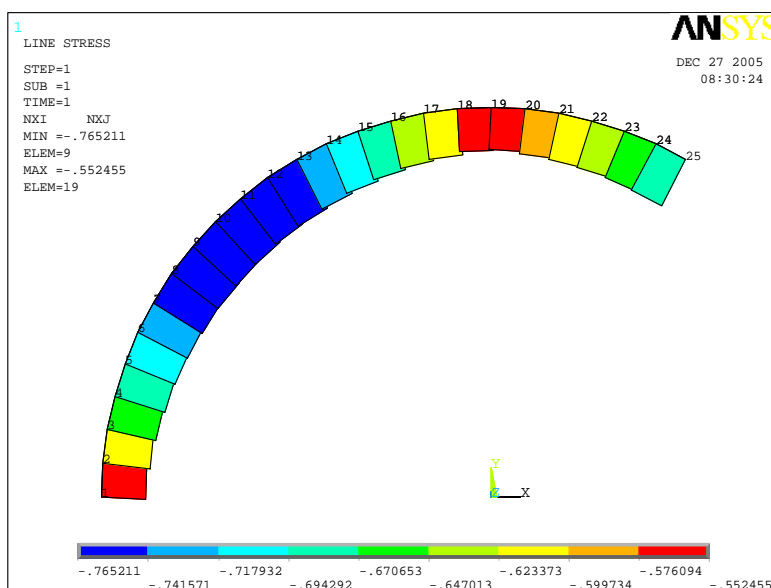


Рис. 2.28

8.3. Епюри поперечних сил.

ETABLE, QYI, SMISC, 2

ETABLE, QYJ, SMISC, 62

PLLS, QYI, QYJ (мал. 2.29).

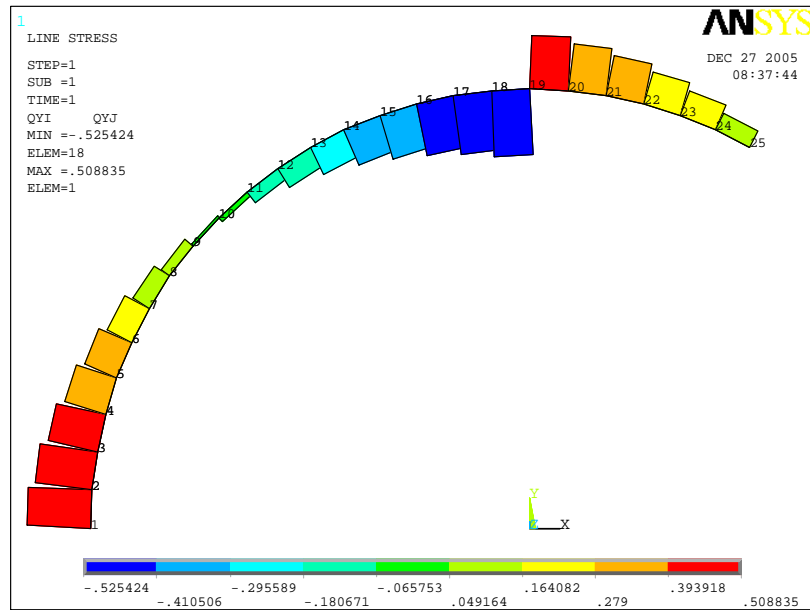


Рис. 2.29

8.4. Епюри згинальних моментів.

ETABLE, MXI, SMISC, 6

ETABLE, MXJ, SMISC, 66

PLLS, MXI, MXJ (мал. 2.30).

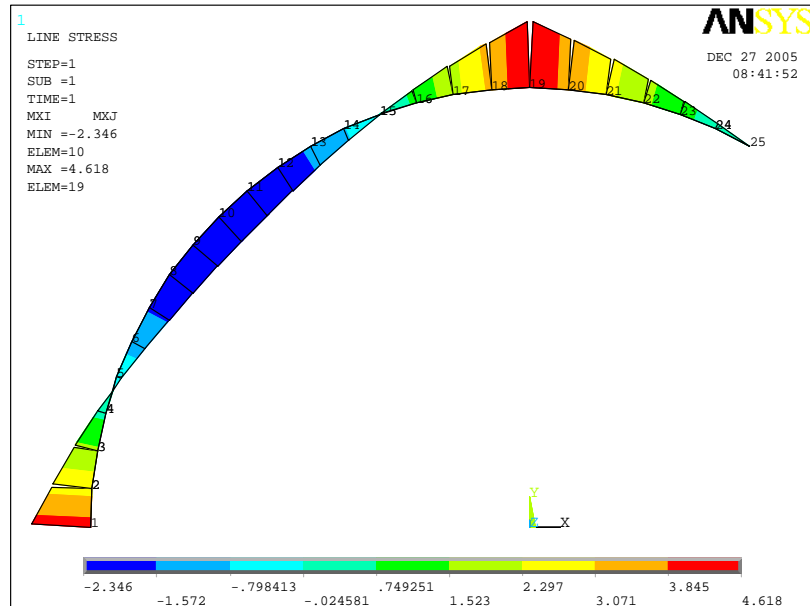


Рис. 2.30

Лістинг із заелементними значеннями епюр виводиться в такий спосіб:

Main Menu > General Postproc > List Results > Elem Table Data

У вікні, що з'явилось, *List Element Table Data* вибираємо *NXI, NXJ, QYI, QYJ, MXI, MXJ*. **OK** (мал. 2.31).

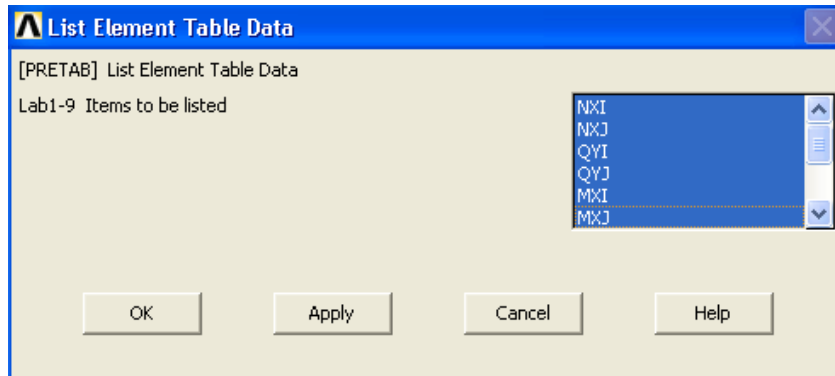


Рис. 2.31

2.6. Вигин прямокутних пластин

Основне диференціальне рівняння вигину пластин (рівняння Софі Жермен - Лагранжа) має вигляд

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = \frac{q}{D},$$

або в скороченій формі

$$\nabla^2 \nabla^2 W = \frac{q}{D}.$$

При завданні відповідних граничних умов на краях пластинки це рівняння дозволяє визначити функцію прогинів $W(x,y)$.

Застосування класичних методів розв'язку рівняння – в однакових і подвійних тригонометричних рядах – можливо при певних варіантах закріплення крайок пластинки й не завжди дозволяє одержати необхідну точність розв'язку.

Запропонований числено-аналітичний варіант методу граничних елементів (МГЭ) дозволяє одержати розв'язок завдання при будь-яких граничних умовах і діючих навантаженнях.

Розглянемо вигин вільно обпертої квадратної пластинки під дією рівномірно розподіленої навантаження (мал. 2.32,а).

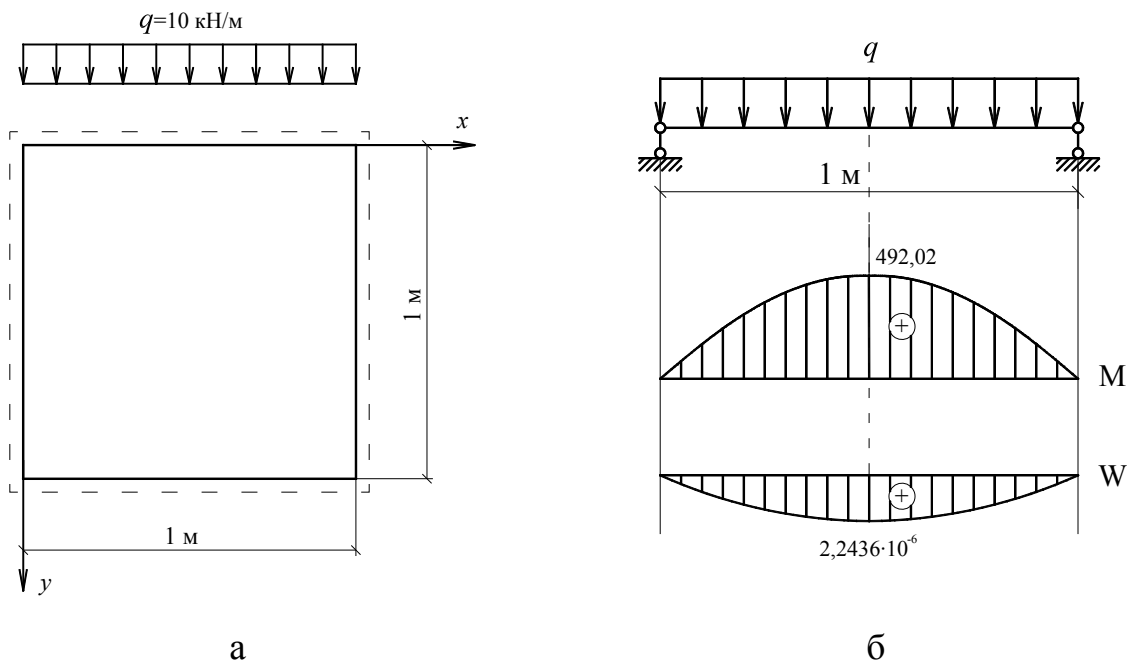


Рис. 2.32

Епюри згинальних моментів і прогинів (при товщині пластини $h = 0,1\text{ м}$, $E = 2 \cdot 10^8 \text{ кПа}$, $\nu = 0,3$), отримані методом граничних елементів, представлені на мал. 2.32,б.

Розв'язок С.П. Тимошенко завдання про вигин вільно обпертої пластини під дією рівномірно розподіленої навантаження дає наступні результати:

максимальний прогин (у центрі пластини) — $2,2168 \cdot 10^{-6} \text{ м}$;

максимальний момент — $479 \text{ н} \cdot \text{м}$.

Ці ж величини були визначені методом кінцевих елементів у програмі ANSYS. Порівняння результатів, отриманих трьома методами, надаємо читачам.

Алгоритм розв'язку цього завдання в ANSYS має вигляд:

1. Задаємо кінцевий елемент.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add...

У вікні *Library of Element Types* вибираємо *Shell 4 node 181*. **OK. Close.**

2. Задаємо реальні константи.

Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Add... > OK

У полях *Shell thickness at node I TK(I), at node J TK(J), at node K TK(K), at node L TK(L)* уводимо товщину пластини — 0.1. **OK, Close.**

3. Задаємо властивості матеріалу.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

У вікні *Define Material Model Behavior* у правім полі подвійним натисканням лівої кнопки миші вибираємо

Structural > Linear > Elastic > Isotropic

Уводимо модуль пружності *EX* і коефіцієнт Пуассона *PRXY*:

EX – 2e11

PRXY – 0.3 **OK.**

4. Задаємо ключові крапки.

Main Menu>Preprocessor>Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

У діалогові вікні *Create Keypoints In Active Coordinate System* у поле *NPT Keypoint number* уводимо номер крапки, у полях *x, y, z Location in active CS* — її координати.

1(0; 0; 0); 2(1; 0; 0); 3(1; 0; 1); 4(0; 0; 1)

Після введення координат кожної крапки натискаємо **Apply.**

5. Будуємо площину по крапках.

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through Kps

Послідовно виділяємо крапки 1, 2, 3, 4. **OK.**

6. Задаємо кількість розбивок на лінії.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* натискаємо кнопку **Set** поруч із *Lines*, у вікні *Element Size on Picked...* натискаємо **Pick All.** У поле *NDIV No, of element division* уводимо число розбивок – 10. **OK.**

7. Будуємо сітку.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

У вікні *Mesh Tool* в опціях *Shape* вибираємо *Quad* і *Mapped*, натискаємо **Mesh**, у вікні *Mesh Areas* — **Pick All.** **OK.**

8. Задаємо умови закріплення.

Main Menu>Solution>Define Loads>Apply > Structural > Displacement > On Lines

Натискаємо **Pick All**. У вікні, що з'явилося, *вибираємо* UY. **OK**.

9. Прикладаємо розподілене навантаження.

Main Menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural>Pressure>On Areas

Натискаємо **Pick All**. У вікні *Apply PRES on areas* у поле *VALUE Load PRES value* уводимо величину розподіленого навантаження — 10000. **OK**.

10. Запуск на розв'язок.

Перед розрахунками необхідно виділити всю конструкцію:

Utility Menu > Select > Everything.

Main Menu > Solution > Solve > Current LS > OK

11. Перегляд результатів розрахунків.

Зчитуємо результати:

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set

11.1. Деформована форма.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape

Відзначаємо *Deformed + Undeformed*. **OK** (мал. 2.33).

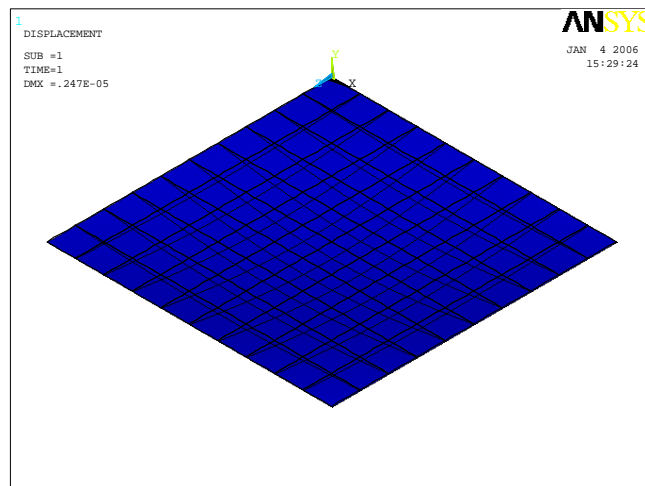


Рис. 2.33

11.2. Формуємо таблицю результатів.

Main Menu > General Postproc > Element Table > Define Table > Add...

У поле *Lab User label for item* уводимо ім'я параметра — *UY*. У лівім полі в списку *Item, Comp Results data item* вибираємо *DOF solution*, у правом — *UY*. **Apply**, уводимо ім'я параметра — *M11*, у лівому списку вибираємо *By Sequence num*, у правом — *SMISC*, нижче вводимо *SMISC,4* (мал. 2.34).

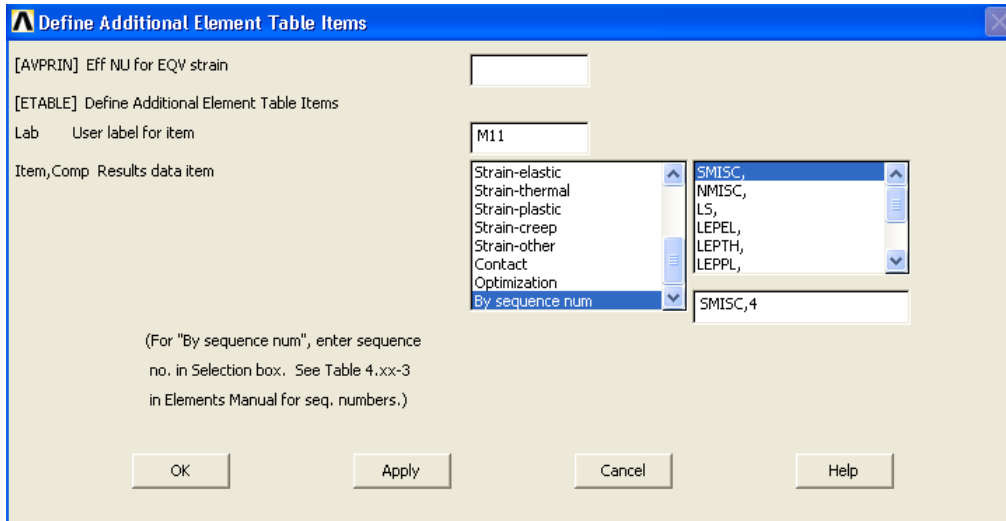


Рис. 2.34

Аналогічним образом уводимо:

M22 SMISC,5

M12 SMISC,6 **OK, Close.**

11.3. Висновок епюр.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Elem Table

У вікні, що з'явилося, вибираємо *UY* (прогини пластинки — переміщення уздовж осі *y*). **OK** (мал. 2.35).

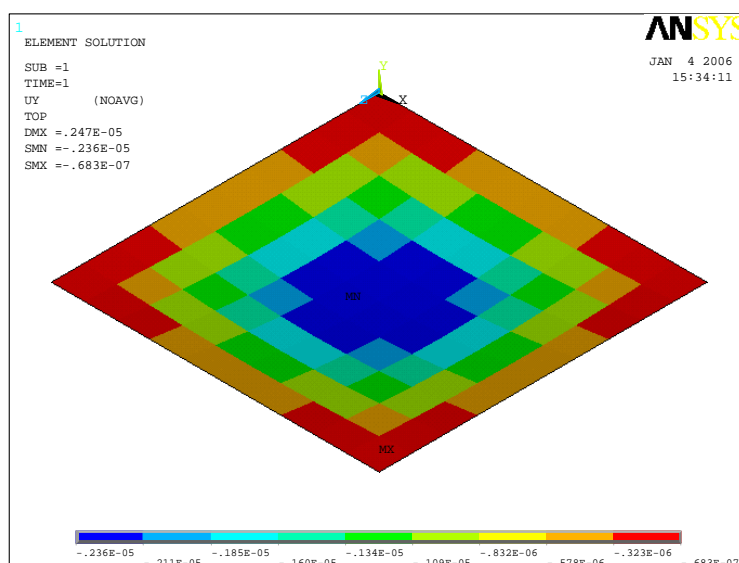


Рис. 2.35

Аналогічно виводимо епіюру моментів M_{22} (мал. 2.36).

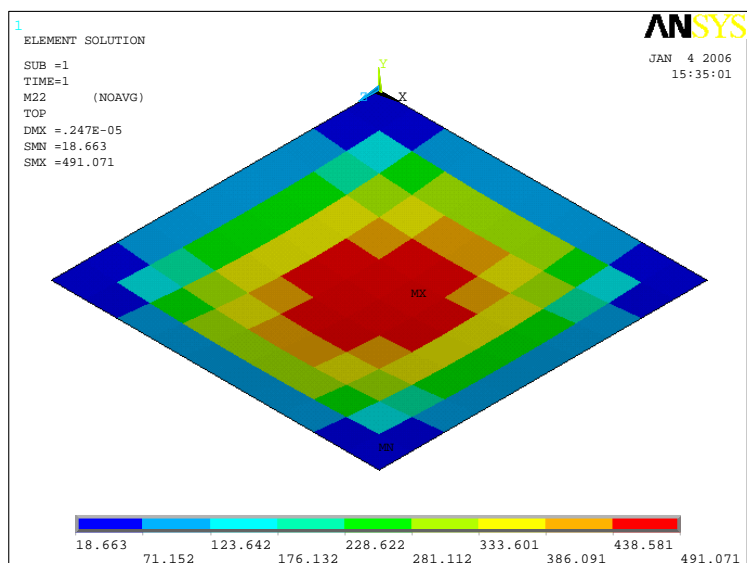


Рис. 2.36

11.4. Висновок результатів у текстовому виді.

Main Menu > General Postproc > List Results > Element Table Data

У вікні *List Element Table Data* вибираємо U_Y , M_{11} , M_{22} , M_{12} . **OK**.

РОЗДІЛ 3

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОГРАМУ SOLIDWORKS

SolidWorks2016 — одна з новітніх систем автоматизованого проектування (САПР) середнього рівня, яка дозволяє інженерам-проектувальникам:

- створювати продукт, починаючи від простого цвяха і закінчуючи складними корпусними деталями;
- максимально швидко вивести продукт на ринок, витративши на процес проектування і підготовку конструкторської документації мінімальний час;
- перевірити на працездатність і при необхідності відкоригувати конструкцію до дорогого процесу виробництва;
- проводити проектування, параметричне моделювання та аналіз деталей і зборок на міцність.
- визначати масово-інерційні характеристики і ряд інших функцій.

SolidWorks має вбудовані інструменти для створення деталей литтям, штампуванням з листового матеріалу, побудови зварних конструкцій. Оформлення креслень відбувається відповідно до діючих норм з автоматичним створенням розрізів. Це дозволяє легко адаптувати SolidWorks під вимоги конструктора і швидко створювати складні елементи.

Основні аспекти роботи у комплексі SolidWorks:

- модель SolidWorks складається з деталей, зборок і креслень;
- зазвичай спочатку малюється ескіз, створюється підстава, а потім в модель додаються чисельні елементи (можна також почати з імпортованої поверхні або геометрії твердого тіла);
- можна скільки завгодно вдосконалювати креслення, додаючи, змінюючи елементи і їх порядок;
- зв'язок між деталями, збірками та кресленнями гарантує, що зміни, зроблені в одному виді, автоматично виконуються у всіх інших видах;

- креслення або збірки можна створювати на будь-якому етапі в процесі проектування;
- додаток SolidWorks дозволяє створювати власну настройку функцій, що відповідає конкретним вимогам.

Програма SolidWorks виконує автоматичне збереження.

Основні елементи призначеного для користувача інтерфейсу SOLIDWORKS зображені на рис. 3.1:

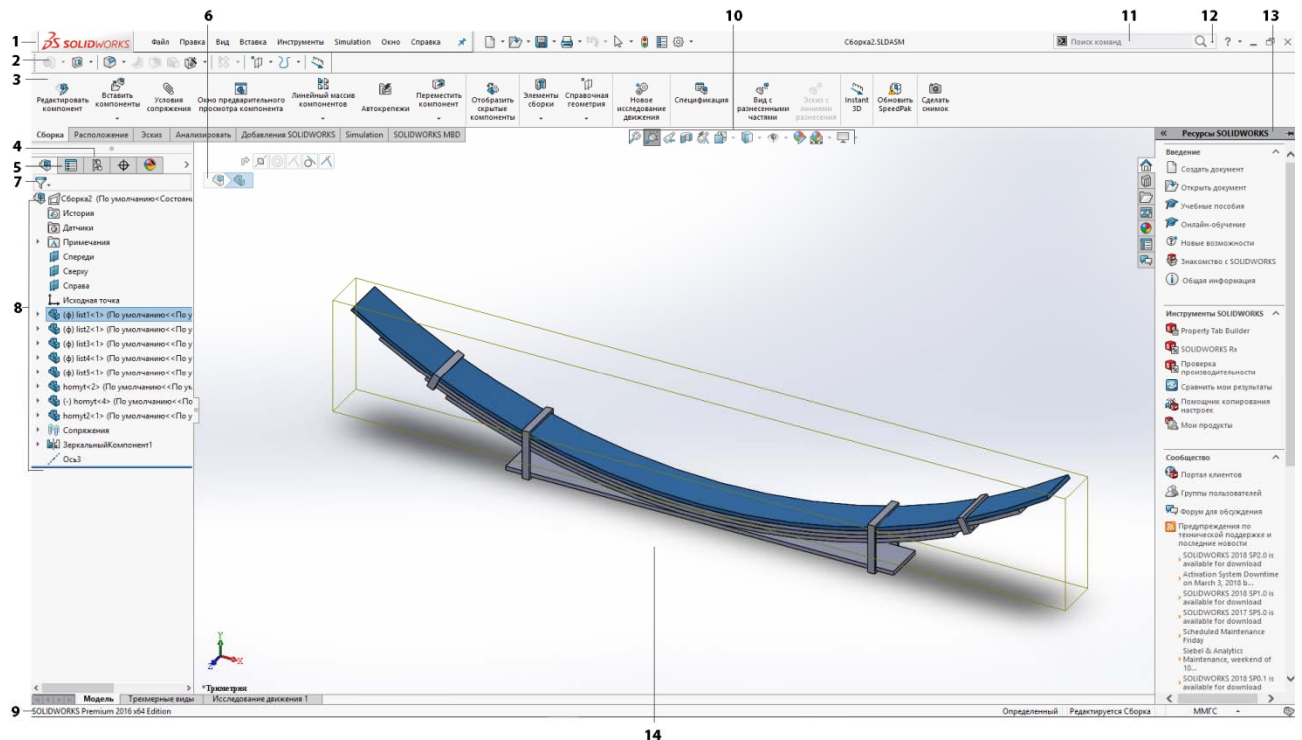


Рис. 3.1

1. **Строчка меню.** У строчці меню містяться найбільш часто використовувані кнопки інструментів з панелі інструментів "Стандартна", меню SolidWorks, пошуку SolidWorks S і спливаючого меню параметрів довідки.

2. **Панелі інструментів.** Для більшості інструментів SolidWorks і додаткових продуктів є панелі інструментів.

Іменовані панелі інструментів допоможуть провести певні завдання проектування, наприклад, застосування поверхонь або кривих креслення.

Оскільки CommandManager містить недавно використані інструменти для поточного документа, панелі інструментів за замовчуванням вимкнені.

Можна відобразити:

- панелі інструментів SOLIDWORKS;
- панелі інструментів для додавань.

Також такі спеціальні панелі інструментів допоможуть працювати продуктивніше:

- інструменти відображення поверх вікна виду;
- контекстні панелі інструментів;
- панелі меню.

Можливо встановити наступні параметри:

- видимість і положення панелей інструментів для деталі, збірки і документів креслення;
- видимість контекстних панелей інструментів;
- кнопки інструментів на панелях інструментів.

3. **CommandManager**. Диспетчер команд — це контекстна панель інструментів, яка оновлюється автоматично в залежності від панелі інструментів, до якої потрібен доступ. За умовчанням вона містить вбудовані панелі інструментів в залежності від типу документа.

При натисканні на вкладку під CommandManager, вона оновлюється для відображення відповідної панелі інструментів.

4. **ConfigurationManager**. Менеджер конфігурації служить для створення, вибору і перегляду численних конфігурацій деталей і зборок в документі.

Можна розділити ConfigurationManager (Менеджер конфігурації) і відобразити два вікна ConfigurationManager (Менеджера конфігурації) або скомбінувати ConfigurationManager (Менеджер конфігурації) з деревом конструювання FeatureManager, PropertyManager (Менеджером властивостей) або з додатками сторонніх постачальників, в яких використовується панель.

ConfigurationManager містить розділ для управління станами відображення.

Для активізації ConfigurationManager натисніть на вкладку ConfigurationManager у верхній частині *Панелі завдань*.

Кожна конфігурація буде показана окремо.

5. Property Manager. Інструмент Property Manager призначений для настройки властивостей та інших параметрів багатьох команд SolidWorks.

Вікно PropertyManager відображається на вкладці PropertyManager на панелі зліва від графічної області. PropertyManager відкривається при виборі об'єктів або команд, визначених у PropertyManager. Щоб вказати, в яких ще ситуаціях повинно відкриватися вікно PropertyManager, виберіть пункт меню Інструменти > Параметри > Налаштування системи > Загальні.

6. Навігаційний ланцюг вибору. Навігаційний ланцюг вибору є вид поточного вибору на основі контексту. Він показує пов'язані елементи на різній висоті ієрархічного дерева, від обраного об'єкта через верхній рівень збірки або деталі.

Навігаційні ланцюжки дозволяють вибрати певний об'єкт в графічній області та уточнити цей вибір на основі контекстного уявлення цього об'єкта. Наприклад, в збірці, при виборі грані, можливо побачити всі сполучення компонента, до якого належить ця грань. До появи SolidWorks 2016 року для перегляду сполучень потрібно клацнути по компоненту правою кнопкою миші або знайти компонент в дереві конструювання FeatureManager і відкрити папку сполучень. Навігаційний ланцюг забезпечує доступ до всього ієрархічного ланцюга об'єктів для елемента, обраного через документ верхнього рівня. Крім того, навігаційні ланцюжки дозволяють перейти до загальних вибраних об'єктів, які є суміжними з об'єктами в навігаційному ланцюжку, такими як пов'язаний ескіз функції або сполучення компонента.

7. Фільтр дерева конструювання FeatureManager. Фільтр дерева конструювання FeatureManager дозволяє проводити пошук певних деталей або компонентів збірок.

8. Дерево конструювання FeatureManager. У дереві конструювання FeatureManager в лівій частині вікна SolidWorks відображається контурний


вид активної деталі, збірки або креслення. Можливо легко побачити побудову моделі або збірки або переглянути різні листи і види креслення.

9. Строчка стану. Строчка стану, розташована в нижній частині вікна SOLIDWORKS, відображає інформацію про виконувані завдання.

Щоб відобразити або приховати рядок стану:

Вид > Інтерфейс користувача > Рядок стану.

10. Панель інструментів керованого перегляду. Прозора панель інструментів в кожному вікні перегляду надає всі часто використовувані інструменти для маніпулювання видом.

Види, які налаштовуються, і види камер, визначені користувачем, відображаються у спливаючому вікні Орієнтація виду. .

11. Пошук SolidWorks. Можна використовувати Пошук SolidWorks для знаходження інформації в документації і форумах. Також можна знаходити файли і моделі, а також знайти і запустити команду SolidWorks за допомогою всього декількох натискань клавіш.

12. Спливаюче меню довідка. При вході в довідку відображається он-лайн версія документації в веб-браузері. Ви можете використовувати локальні файли довідки (.chm), якщо, наприклад, Ваше підключення до Інтернету працює повільно або поза зоною досяжності.

13. Панель завдань. Забезпечує доступ до ресурсів, бібліотекам повторно використовуваних елементів проектування SolidWorks, видам, які можна перетягувати на креслярські листи, і іншим корисним об'єктів і відомостями. Панель завдань з'являється при відкритті програмного забезпечення SolidWorks.

14. Графічна область. У графічній області відображаються деталі, збірки і креслення, якими може оперувати користувач.

Біль докладніше елементи інтерфейсу будуть розглянуті далі у підручнику.

Так як пакет SolidWorks русифіковано, маршрути команд та назви вікон будуть указані російською мовою.

3.1. Побудова деталі з використанням базових операцій

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый — з'являється вікно *Новый документ SolidWorks* (рис. 3.2). У ньому обираємо **Деталь > ОК**.

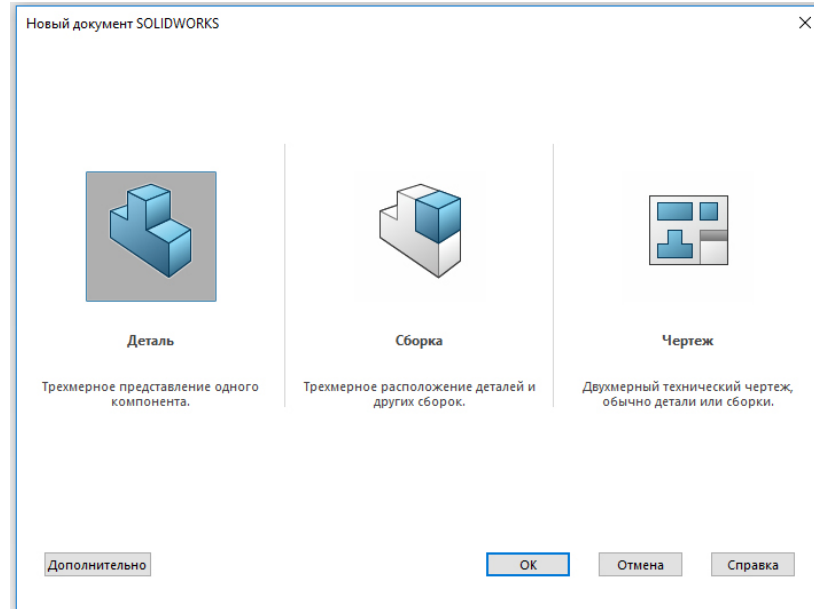



Рис. 3.2

Відкриваємо двовимірний ескіз: на панелі інструментів обираємо вкладку **Эскиз** та натискаємо  **Эскиз**. Далі курсором миші вибираємо площину, на якій необхідно створити ескіз. Коли площина *Front (Спереди)* підсвічується, натискаємо на неї курсором (рис. 3.3).

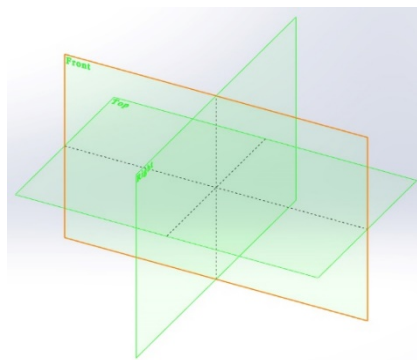



Рис. 3.3

Будуємо окружність. На вкладці **Эскиз** обираємо  **Окружность**. Відкривається вікно *Окружность* (рис. 3.4). Переміщуємо курсор в графічну область і наводимо його на вихідну точку (початок координат). Натискаємо ЛКМ та, переміщуючи курсор, будуємо окружність. Поруч з курсором відображається радіус кола (рис. 3.5). Ще раз натискаємо ЛКМ.

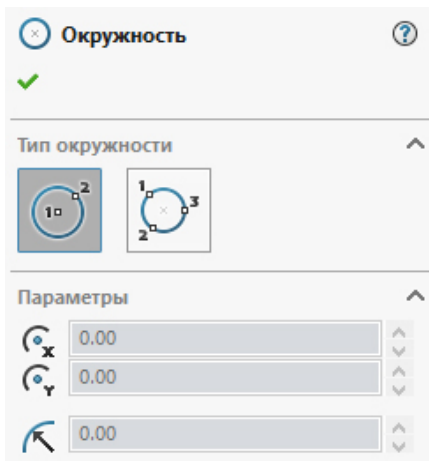


Рис. 3.4

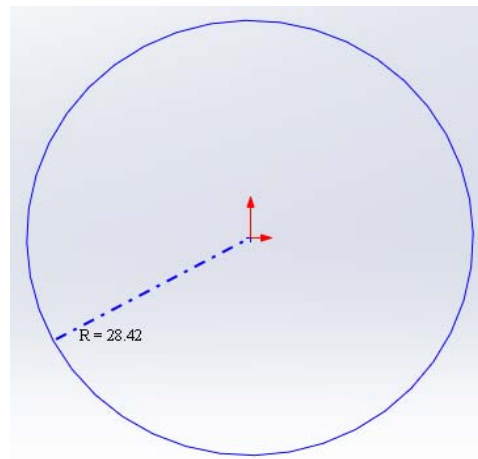


Рис. 3.5

Наносимо діаметр окружности: на вкладці **Эскиз** обираємо *Автоматическое нанесение размеров*. ЛКМ натискаємо на лінії окружности, а потім там, де потрібно нанести розмір. У вікні *Изменить* вводимо розмір окружности 100мм, натискаємо , або **Enter** (рис. 3.6). Колір окружности зміниться з синього на чорний. Це означає, що ескіз визначено.

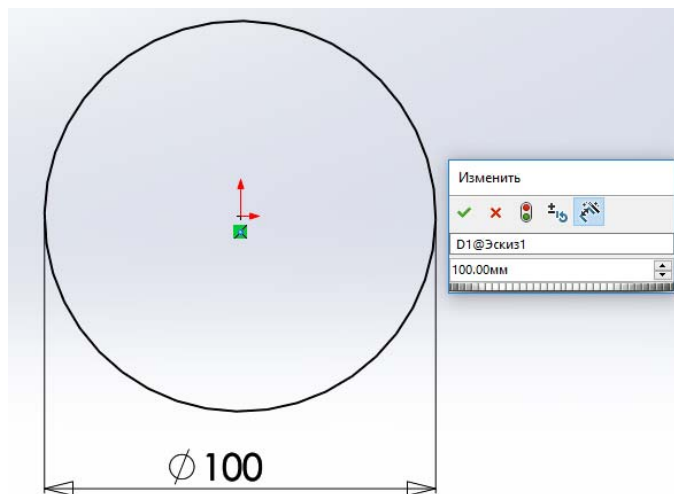



Рис. 3.6

Для виходу з ескизу натискаємо в правому куті графічного вікна.

Наступний крок — це витяжка основи. Цей елемент створюється шляхом витягування намальованою кола: на вкладці **Элементы** обираємо **Вытянутая бобышка/основание** або меню **Вставка > Бобышка/Основание > Вытянуть**. З'явиться діалогове вікно *Бобышка-Вытянуть*, а вид ескизу буде показаний в ізометрії (рис. 3.7).

У полі *Направление 1* виконуємо наступні операції: у меню *Граничные условия* обираємо *На заданное расстояние*. Встановлюємо

Глубину, дорівнюючу 140 мм. Для створення витяжки натискаємо  в правому верхньому куті графічної області або безпосередньо в діалоговому вікні *Бобышка-Вытянуть*. Новий елемент *Бобышка-Вытянуть1* відображається в дереві конструювання.

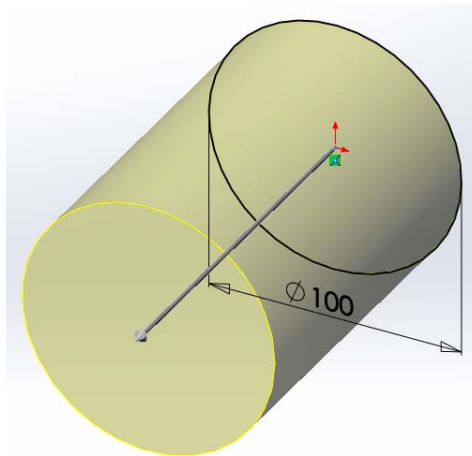
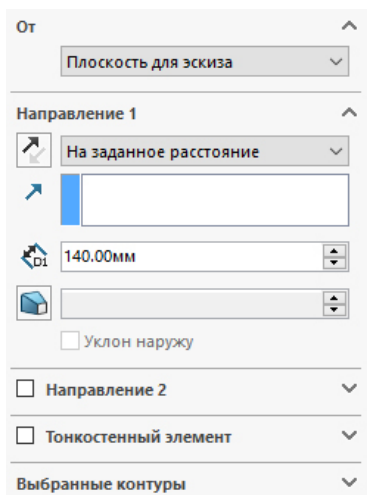





Рис. 3.7

Побудуємо ще один циліндр меншого діаметру. Обираємо грань вже побудованого циліндру, як проказано на рис. 3.8,а. На вкладці **Элементы** обираємо **Вытянутая бобышка/основание** . Автоматично буде відкрито новий ескіз. Будуємо окружність з центром на початку координат (рис. 3.8,б). На вкладці **Эскиз** обираємо  - *Окружность*.

Наносимо діаметр окружності: на вкладці **Эскиз** обираємо  *Автоматическое нанесение размеров*. Задаємо діаметр 80мм (рис. 3.8,в).

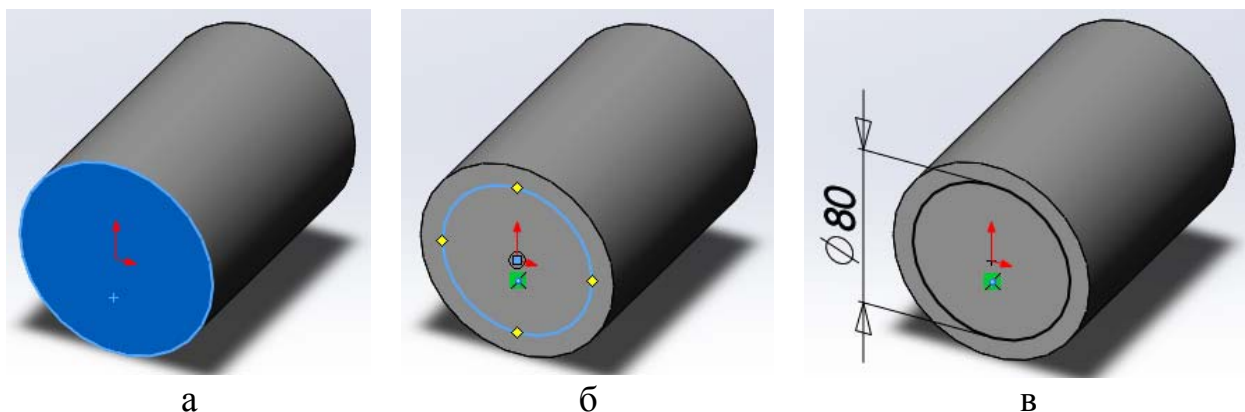



Рис. 3.8

Натискаємо вихід з ескізу  у правому верхньому куті графічної області. Ескіз буде закрито, і автоматично з'явиться вікно *Бобышка-*

Вытянуть, а вид эскизу будет показан в изометрии. Наступні операції виконуємо у полі *Направление 1*. У меню *Граничные условия* обираємо *На заданное расстояние*. Встановлюємо *Глубину* 40 мм (рис. 3.9). Для створення витяжки натискаємо в правому верхньому куті графічної області або безпосередньо в діалоговому вікні *Бобышка-Вытянуть*. Новий елемент *Бобышка-Вытянуть2* відображається в дереві конструювання.

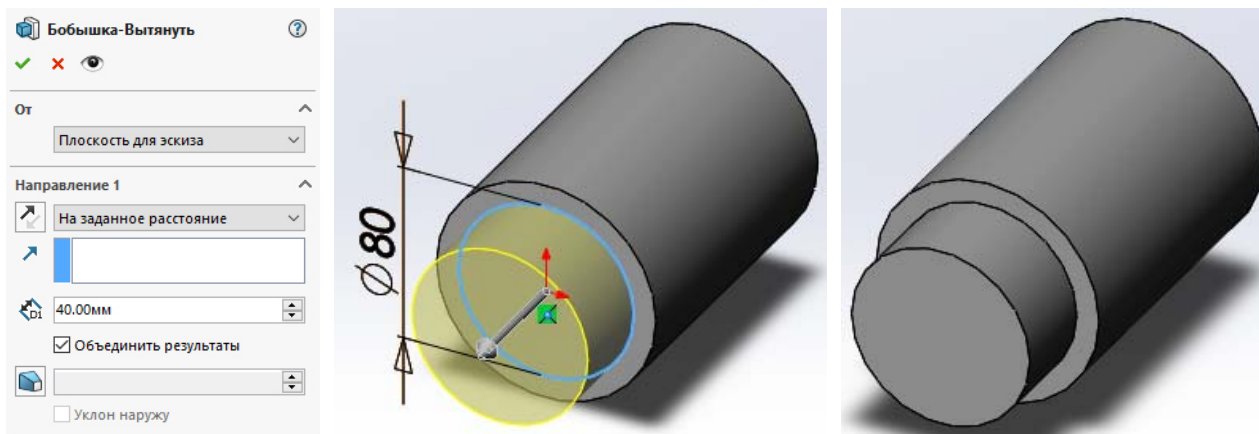


Рис. 3.9

Для створення додаткових елементів на деталі (наприклад, бобишек або вирізів) зобразимо їх на гранях або площості моделі, а потім витягнемо ескізи. На вкладці *Элементы* натискаємо **Вытянутая бобышка / основание**. Відкривається вікно *Вытянуть* із запитом вибрати площість або ескіз (рис. 3.10). Обираємо лицьову грань деталі. Після цього SolidWorks переходить до створення ескизу на обраній грані. Для зручності побудови ескизу натискаємо пробіл та обираємо *Перпендикулярно* (рис. 3.11).

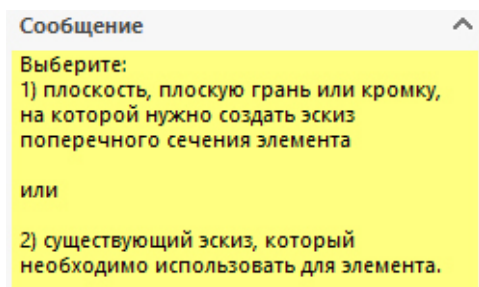


Рис. 3.10

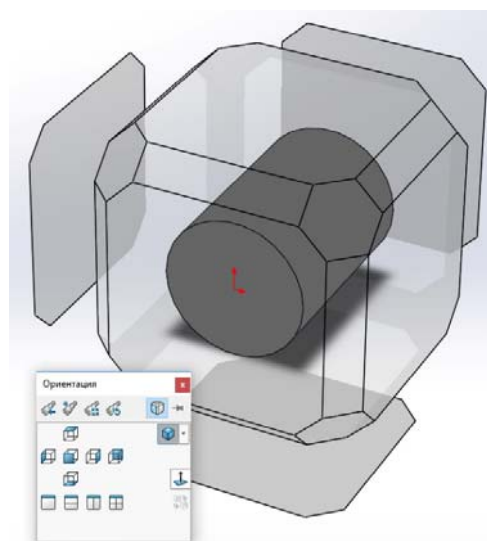



Рис. 3.11

На вкладці **Эскиз** натискаємо  **Многоугольник**. Будуємо багатокутник з центром на початку координат. Проставляємо розміри, як показано на рис. 3.12.

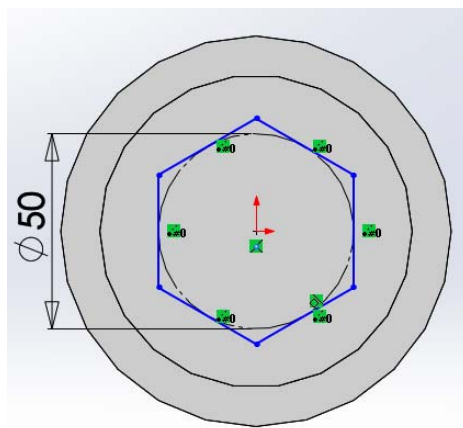






Рис. 3.12

Для того, щоб ескіз був повністю визначений, додаємо взаємозв'язки для вершин багатокутника. Затиснувши **CTRL** вибираємо верхню і нижню вершини багатокутника. У вікні *Свойства* вибираємо  **Вертикальный**. Багатокутник стане чорного кольору. Виходимо з ескизу .

У вікні команди **Вытянуть** встановлюємо  глибину, рівну 30 мм (рис. 3.13). Натискаємо  для створення витяжки. Новий елемент *Бобышка-Вытянуть3* з'явиться в дереві конструювання.

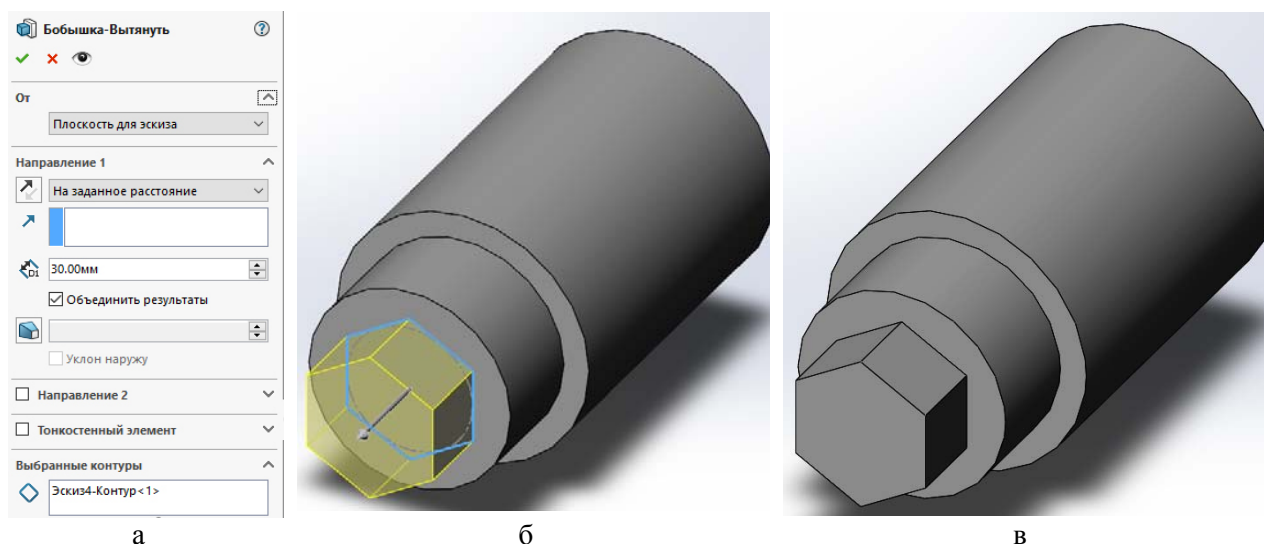







Рис. 3.13

Наступний крок — створення вирізу. На вкладці **Элементы** >  **Вытянутый вырез**. На запит вибрати площіть — вказуємо лицьову грань. Креслимо окружність з центром на початку координат (вкладка **Эскиз** > ).

Вказуємо діаметр окружності: на вкладці **Эскиз** вибираємо **Автоматическое нанесение размеров** . Діаметр — 40 мм (рис. 3.14,а). Вихід з ескизу . Відкривається вікно *Вытянуть*, в якому в меню *Граничные условия* вибираємо *Насквозь*. Натискаємо . Отримуємо деталь, зображену на рис. 3.14,б, а в дереві конструювання новий елемент *Вырез-Вытянуть1*.

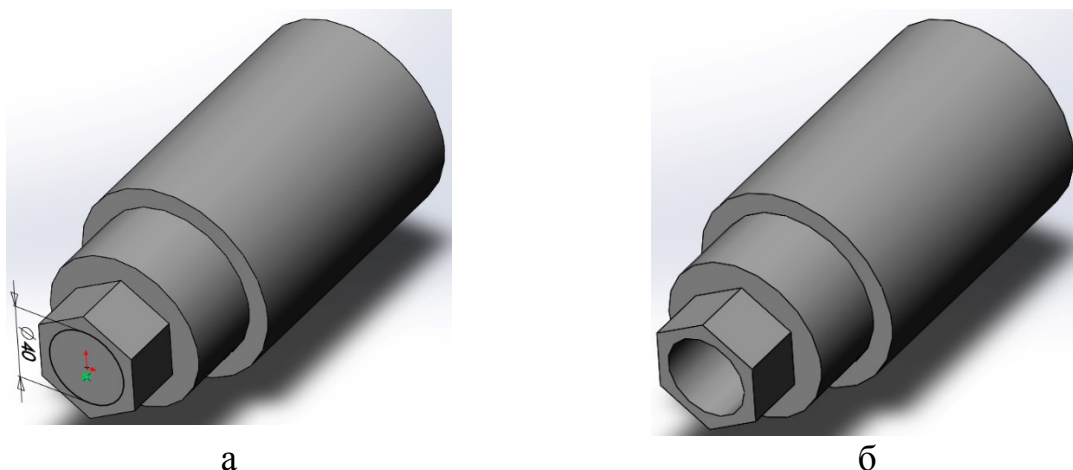






Рис. 3.14

Наступний крок — створення оболонки. На вкладці **Элементы** > **Оболочка** . Відкривається вікно *Оболочка1*. В полі  *Толщина* необхідно ввести 8 мм. Активувавши поле  *Удалить грань*, вибираємо грань, як показано на рис. 3.15. Натискаємо . У Дереві конструювання з'являється новий елемент *Оболочка1*.

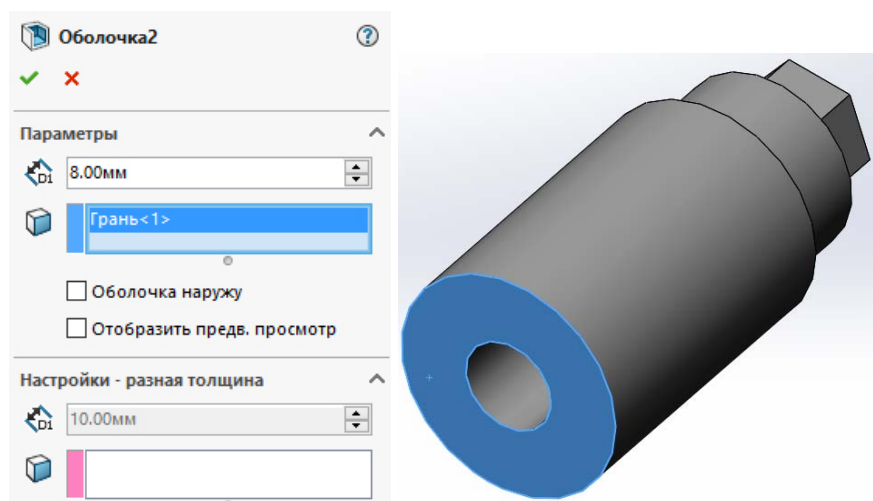


Рис. 3.15

Створюємо допоміжну площину на відстані 50 мм від площині *Тор*. Для цього, утримуючи **CTRL**, виділяємо в графічній області площину *Тор* та переміщуємо її наверх. В вікні *Плоскость1* задаємо 50 мм (рис. 3.16).

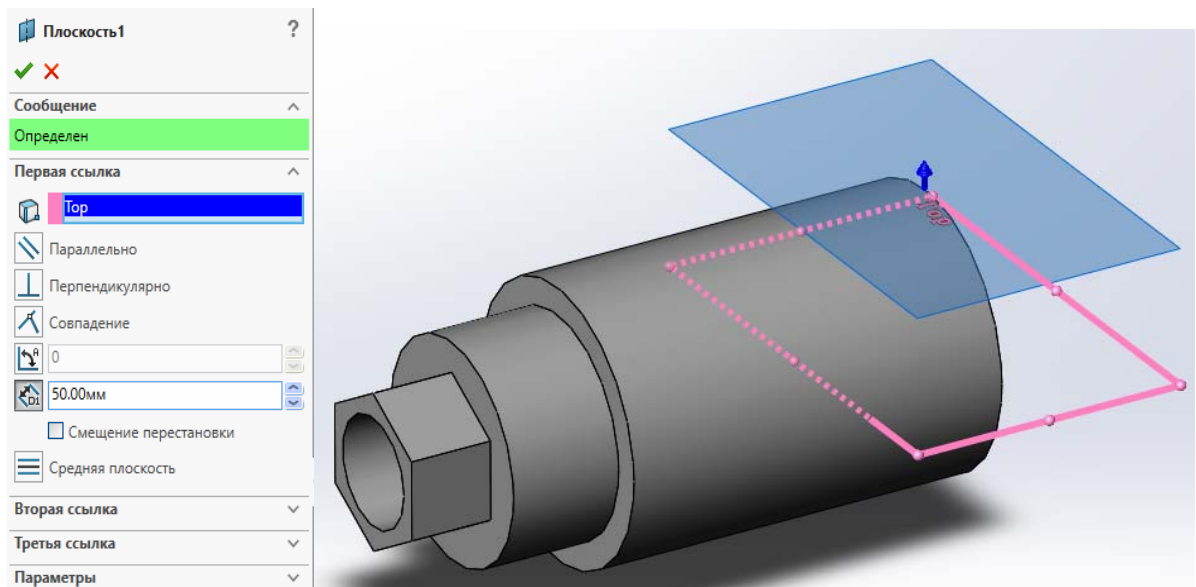


Рис. 3.16

Наступний крок — створення вирізу. Спочатку обираємо *Плоскость1* та будуємо ескіз, як показано на рис. 3.17. Вкладка **Эскиз** > **Эскиз**. Наносимо розміри: вкладка **Эскиз** > **Автоматическое нанесение размеров**.

Щоб ескіз був повністю визначений, додаємо взаємозв'язок між осью лінією та лініями вирізу, які підсвічені синім на рис. 3.17. Виділяємо їх ПКМ, затиснувши клавішу **CTRL**. У вікні *Свойства* вибираємо **Симметричный**. Ескіз повністю визначений.

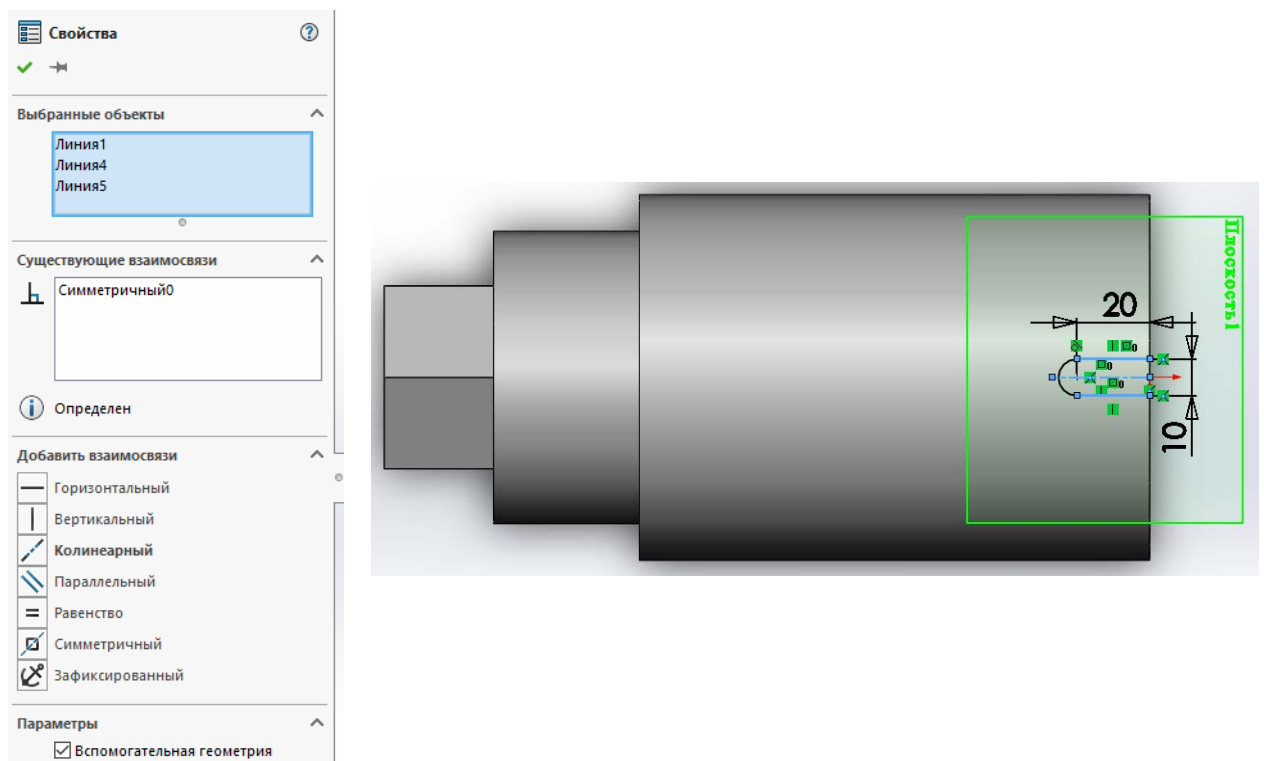




Рис. 3.17

Наступний крок — створення вирізу. Вкладка **Элементы** > **Вытянутый вырез**. Якщо вихід з ескізу не було зроблено, то програма автоматично пропонує існуючий ескіз для створення вирізу. Відкривається вікно *Вытянуть*, в якому в меню *Граничные условия* вибираємо *На заданное расстояние*. Вказуємо глибину  9 мм (рис. 3.18). Натискаємо .

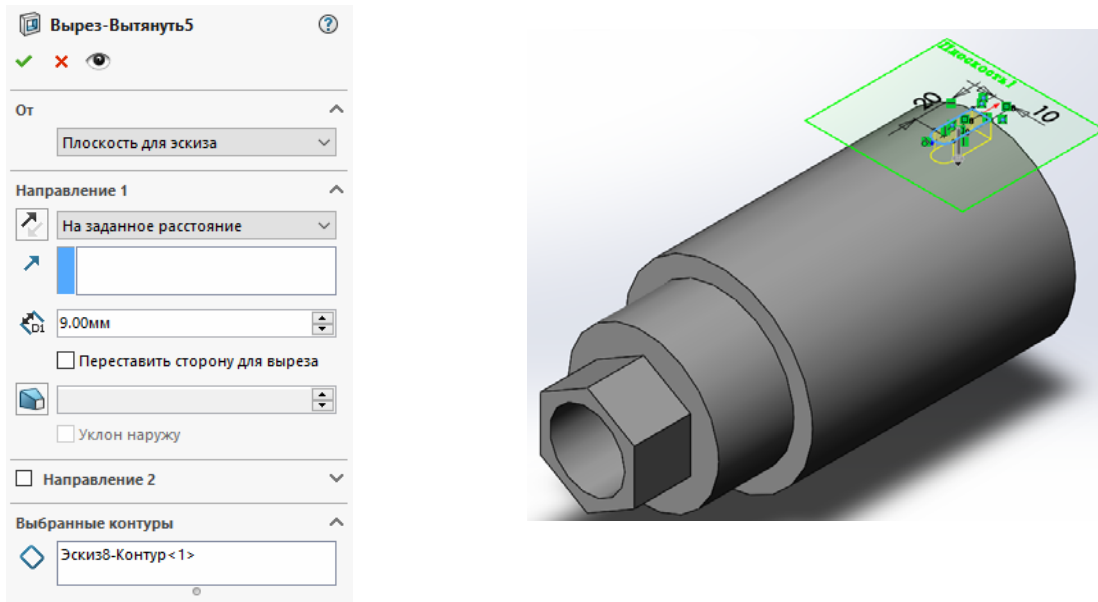





Рис. 3.18

В результаті отримуємо деталь, зображену на рис. 3.19,а. В дереві конструювання з'явився новий елемент *Вырез-Вытянуть2*. Допоміжну *Плоскість 1* приховуємо, натиснувши на неї ПКМ та обравши  *Скрыть*. На панелі інструментів керованого перегляду відкриємо *Стили отображения*  та обираємо  *Невидимі лінії відображаються* (рис. 3.19, б).

Зберігаємо деталь: меню **Файл** > **Сохранить как** з ім'ям **Завдання_1**.

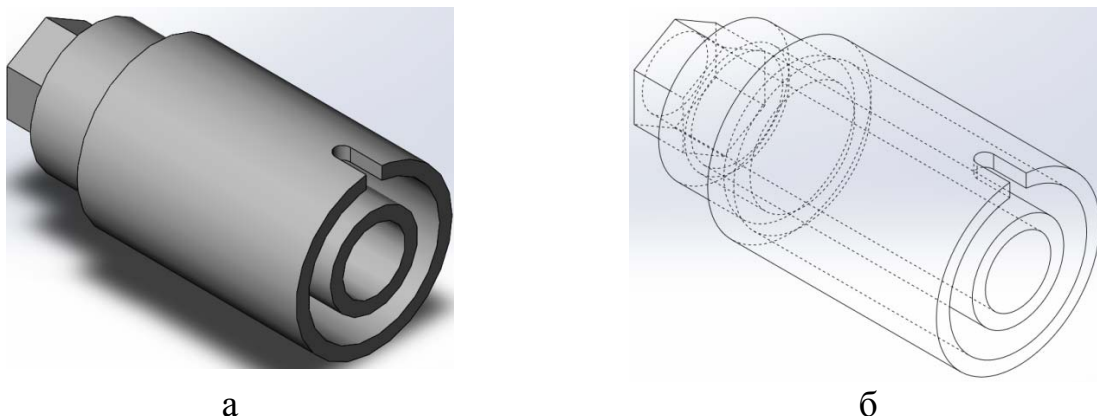


Рис. 3.19

3.2. Побудова тіла обертання

Для створення тіла обертання (рис. 3.20) необхідно:

- побудувати профіль деталі;
- створити вісь обертання;
- створити тіло обертання.

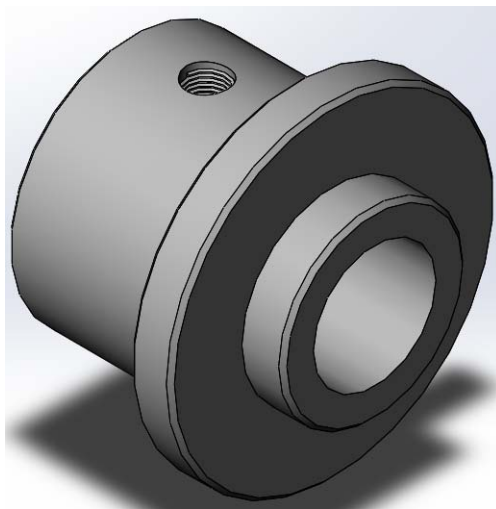




Рис. 3.20

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Відкриваємо двовимірний ескіз: на панелі інструментів вибираємо вкладку **Эскиз** та натискаємо  **Эскиз**. Далі курсором миші в дереві конструювання вибираємо площину *Front (Спереди)*, на якій необхідно створити ескіз. Спочатку малюємо осьову лінію. Вкладка **Эскиз > Линия >** в випадаючому меню **Осевая линия**  Проводимо горизонтальну осьову лінію через початкову точку (початок координат). Для завершення команди натискаємо **ESC** (рис. 3.21).

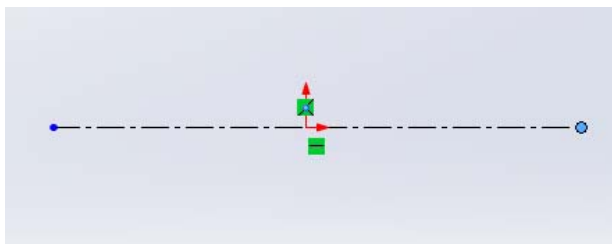



Рис. 3.21

Далі креслимо ескіз, як показано на рис. 3.22, а. Вкладка **Эскиз > Линия**. Задаємо необхідні розміри: на вкладці **Эскиз** обираємо 

Автоматическое нанесение размеров. Відзначимо, що при проставленні розмірів до осьової лінії існує два варіанти вибору розміру в залежності від положення курсора — до або після осьової лінії (рис. 3.22, б, в).

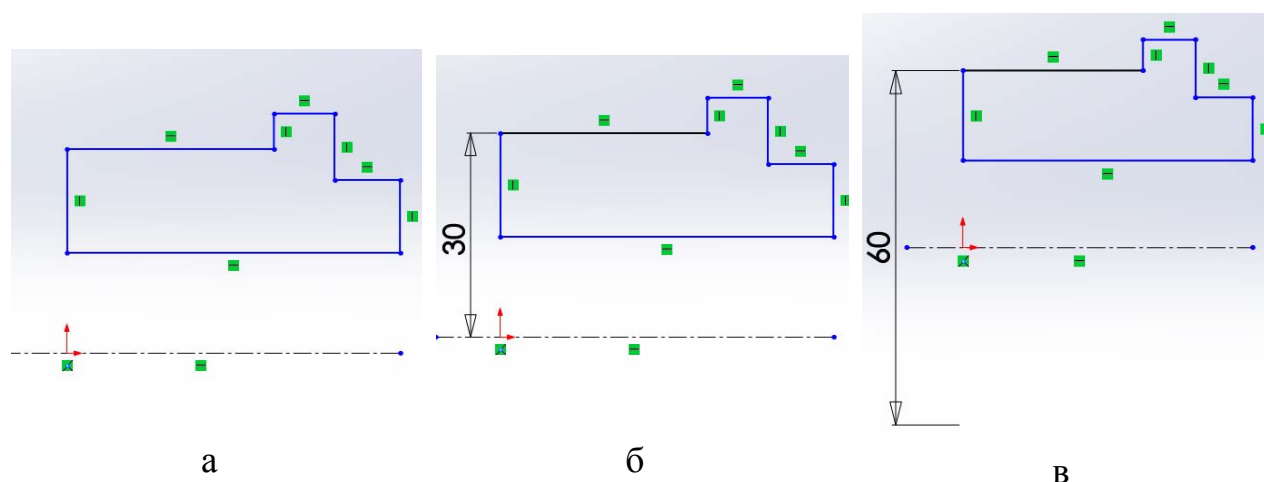


Рис. 3.22

Всі необхідні розміри показані на рис. 3.23, а. Щоб ескіз був повністю визначений, додаємо взаємозв'язок між початком координат и нижньою лівою точкою ескизу, які підсвічені синім на рис. 3.23,б. Виділяємо їх ПКМ, затиснувши клавішу **CTRL**. У вікні *Свойства* вибираємо *Вертикальний I*. Ескіз повністю визначений.

Приховуємо взаємозв'язки: меню **Вид > Отобразить/скрыть > Взаимосвязи эскиза**.

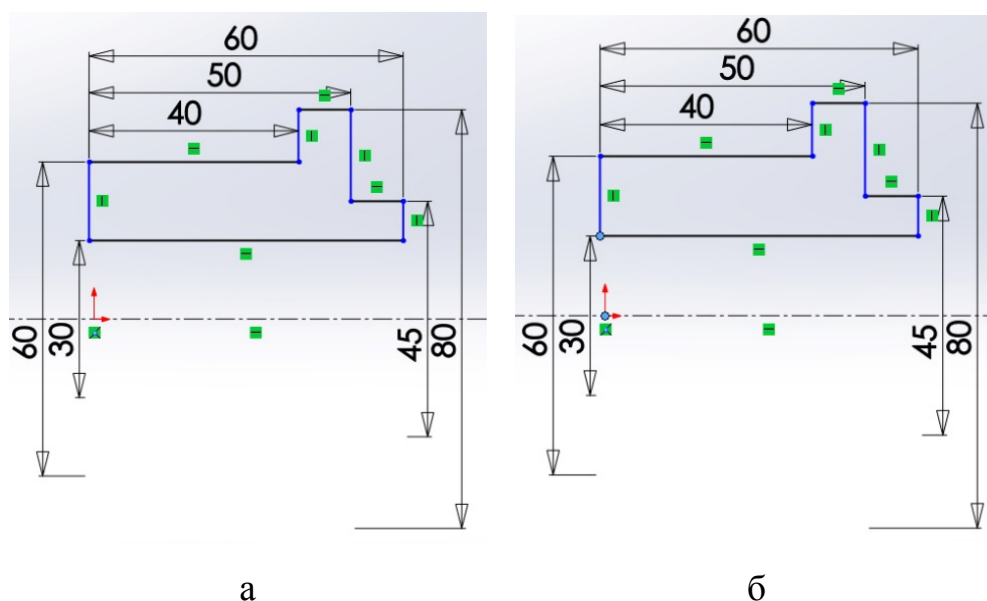



Рис. 3.23

Створюємо тіло обертання: Вкладка **Элементы** > **Повернутая бобышка/Основание**. У графічній області вказуємо горизонтальну вісь. Система показує попередній вигляд тіла обертання (рис. 3.24). Натискаємо .

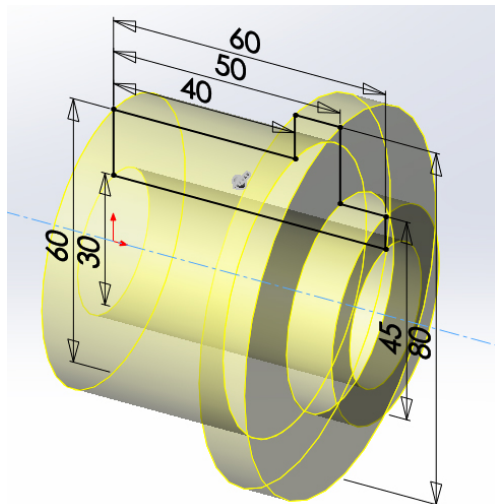
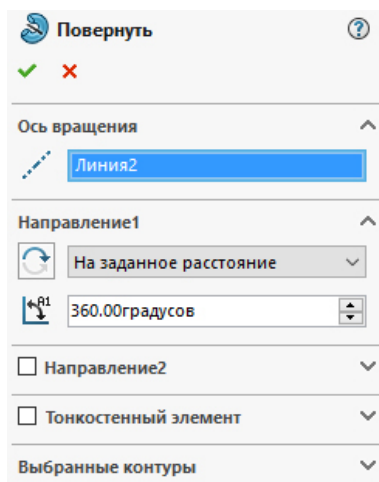




Рис. 3.24

Наступний шаг — зробимо отвір. Для цього спочатку створимо допоміжну площину, паралельну площині зверху.

Затиснувши клавішу **CTRL** натискаємо на графічному екрані площину *Сверху (Top)* та, утримуючи на ній курсор, переміщаємо її наверх. Буде створена допоміжна площина, паралельна заданій. У вікні *Плоскость* задаємо відстань зміщення  30 мм (рис. 3.25). Натискаємо .

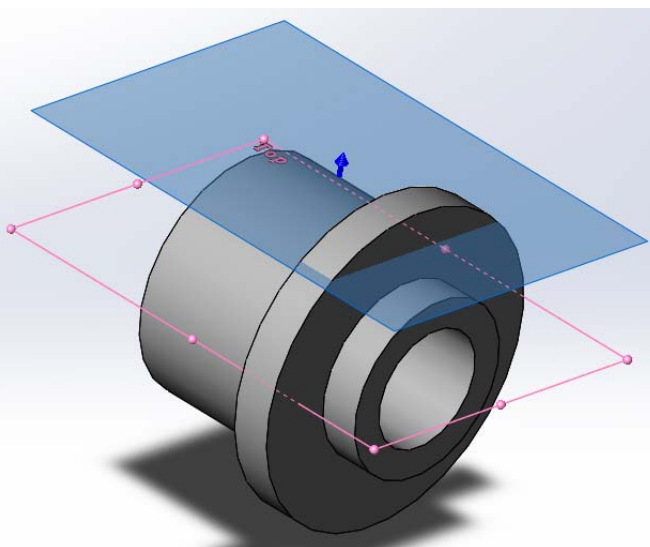
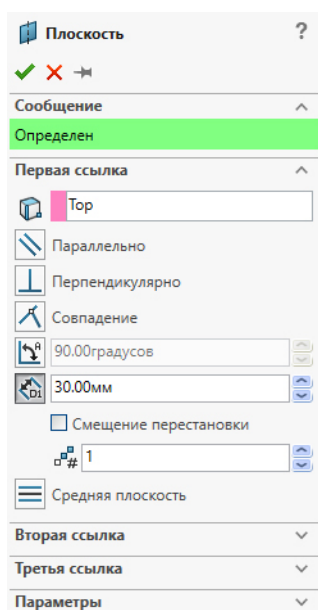








Рис. 3.25

Далі на *Плоскість1* будемо окружність. Для зручності натискаємо **CTRL+5**, буде показано вид зверху. Курсором вибираємо *Плоскість1*. Малюємо коло: вкладка **Эскиз** >  **Окружность**. Ставимо розмір окружності: вкладка **Эскиз** >  **Автоматическое нанесение размеров**. Задаємо діаметр 10 мм (рис. 3.26).

Наступний крок — створення вирізу. На вкладці **Элементы** >  **Вытянутый вырез**. Якщо вихід з ескизу не було зроблено, то програма автоматично пропонує існуючий ескиз для створення вирізу. Відкривається вікно *Вытянуть*, в якому в меню *Граничные условия* вибираємо *На заданное расстояние*. Вказуємо глибину  20 мм. Натискаємо . В результаті отримуємо деталь, зображену на рис. 3.27, а в дереві конструювання — новий елемент *Вырез-Вытянуть1*. Допоміжну *Плоскість1* можна приховати, натиснувши на неї ПКМ та обравши  *Скрыть*.

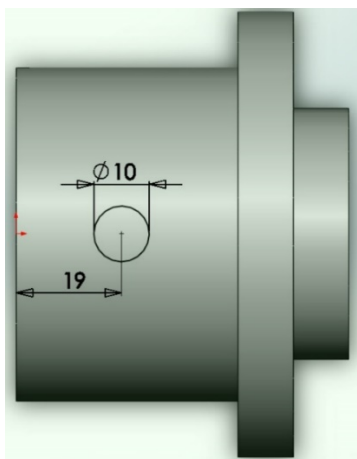


Рис. 3.26

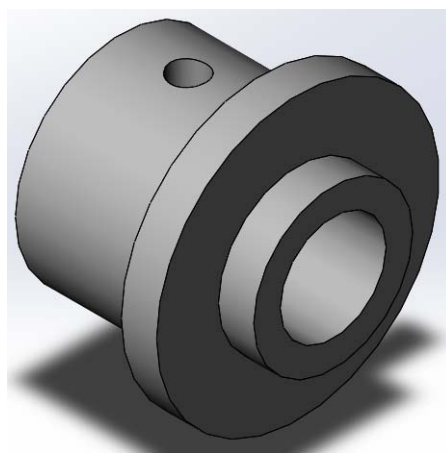






Рис. 3.27

Створимо спіральну різьбу на циліндричній грані. На вкладці **Элементы** >  **Отверстие под крепёж**. Натискаємо на стрілочку, та зі списку обираємо  **Резьба**. Відкриється вікно *Резьба* (рис. 3.28). У графічному полі обираємо край циліндру, на якому будемо різьбу. Далі підсвічуємо друге поле *Требуемое начальное расположение* та обираємо *Плоскость1* у дереві конструювання. Встановлюємо метод різьби *Вытянуть резьбу* та тип *Metric Die*, у списку розмір обираємо *M10*1*. У полі *Граничное условие* обираємо *На заданное расстояние* і встановлюємо глибину  13 мм.

Також ставимо галочку біля *Сместить* та задаємо відстань зміщення різьби *1,5 мм*. Натискаємо .

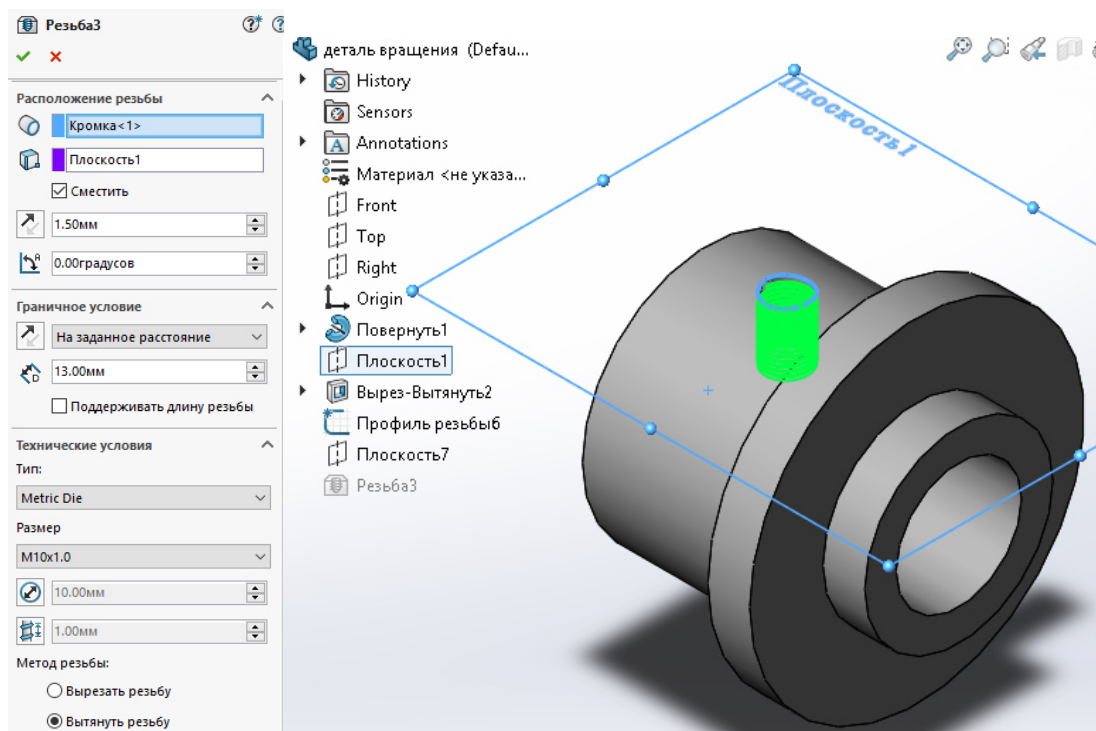






Рис. 3.28

Наступний шаг — створюємо необхідні фаски. На вкладці *Элементы* >  **Скругление**. Натискаємо на стрілочку, та зі списку обираємо  **Фаска**. В вікні *Фаска* задаємо відстань  1мм (рис. 3.29). В графічному полі обираємо кромки на яких потрібно створити фаску . Модель наведена на рис. 3.20.

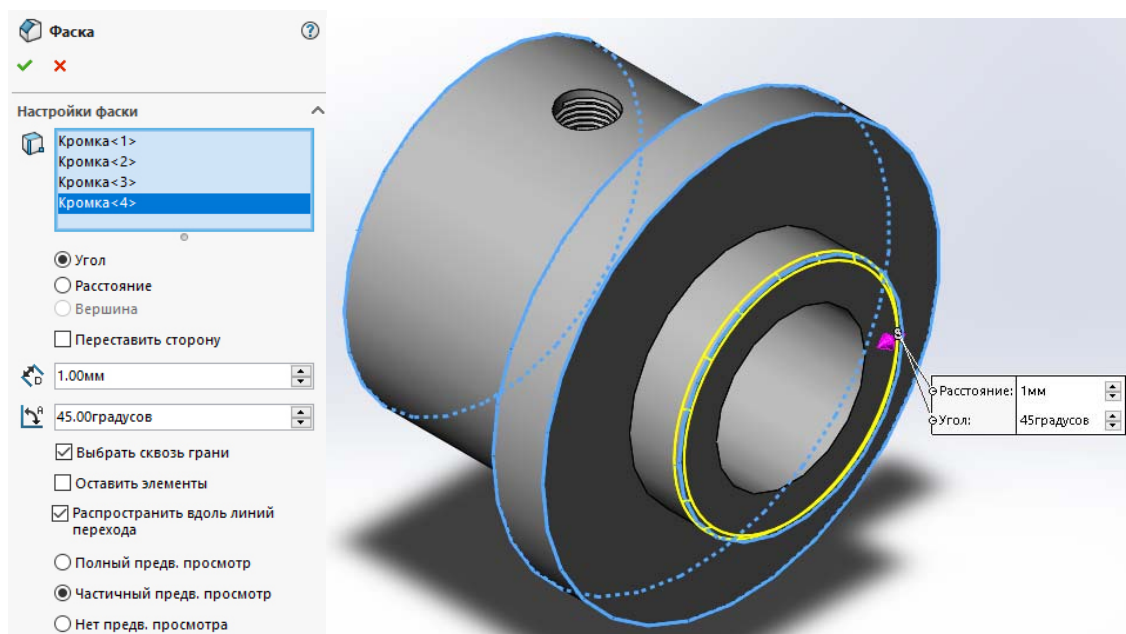




Рис. 3.29

Відобразимо деталь в розрізі. На панелі інструментів керованого перегляду обираємо  **Разрез**. В вікні *Разрез* встановить всі параметри, як показано на рис. 3.30. Використовуючи помаранчеві стрілки в графічній області, спробуйте також змінити параметри розрізу. Режим відображення розрізу деталі відключається повторним натисканням на  **Разрез**.

Зберігаємо деталь під ім'ям **Завдання_2**.

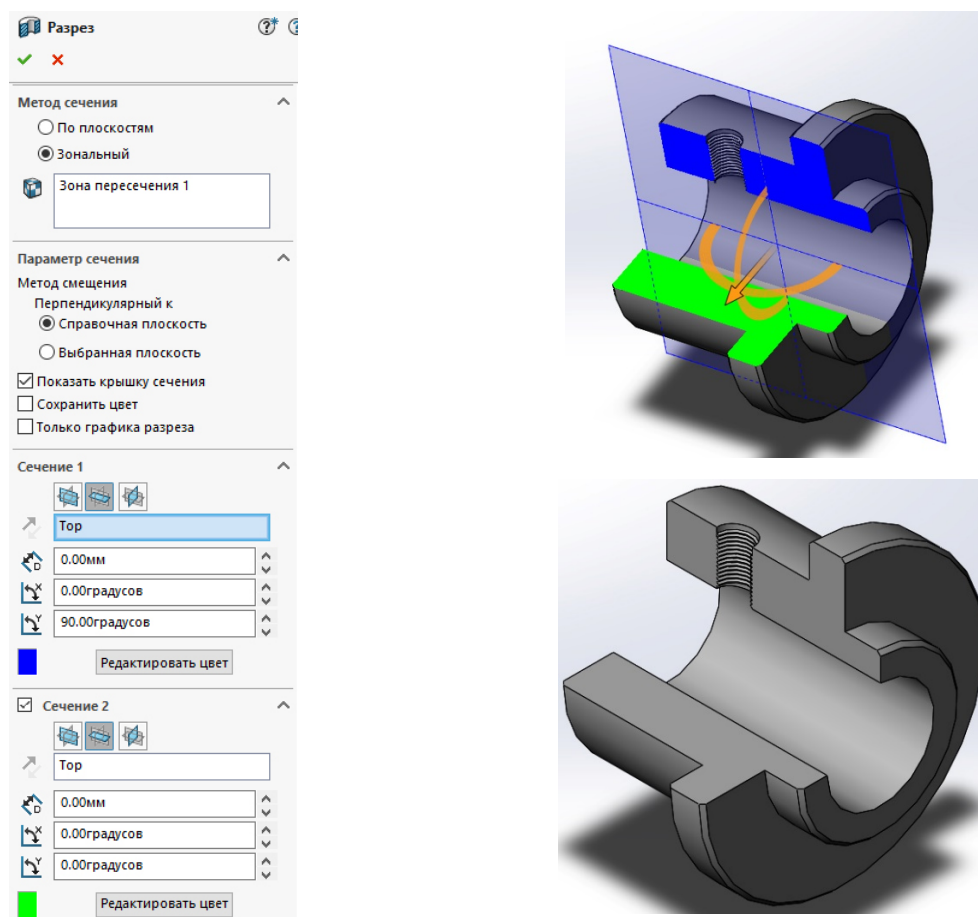




Рис. 3.30

3.3. Побудова пружини у SolidWorks

Побудуємо модель пружини, представлену рис. 3.31.

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Відкриваємо двовимірний ескіз: вибираємо вкладку **Эскиз** і натискаємо  **Эскиз**. Далі курсором миші вибираємо площину *Тор (Сверху)*, на якій необхідно створити ескіз. Малюємо коло з центром на початку координат: вкладка **Эскиз** >  **Окружность**. Ставимо розмір окружності: вкладка


Эскиз >  **Автоматическое нанесение размеров** — задаємо діаметр 100 мм (рис. 3.32).



Рис. 3.31

Для зручності подальшої роботи **Пробел** >  **Изометрия** або **CTRL7**.

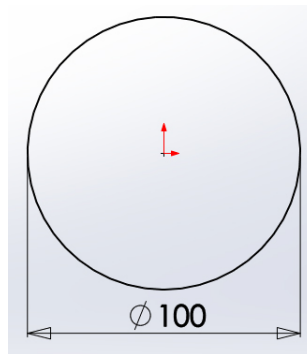




Рис. 3.32

На вкладці **Элементы** вибираємо:  **Кривые** > **Геликоид и спираль** . З'являється діалогове вікно *Спираль* (рис. 3.33), в якому в полі *Определения внес* вибираємо *Высота и шаг*, в поле *Параметры* вибираємо *Переменный шаг*. Таблицю *Параметры области* заповнюємо таким чином: в перший рядок вводимо, відповідно, 0, 5 і 100 (5 мм — крок витка на початку даного інтервалу). У другому рядку, вводимо 30, 20 і 100 (основний інтервал виводимо на номінальний крок в 20 мм), в третьому рядку — 170, 20, 100 (170 мм — висота пружини, на якій закінчується другий інтервал), і в кінці (четвертий рядок) вводимо 200, 5 і 100. Початковий кут 0° .

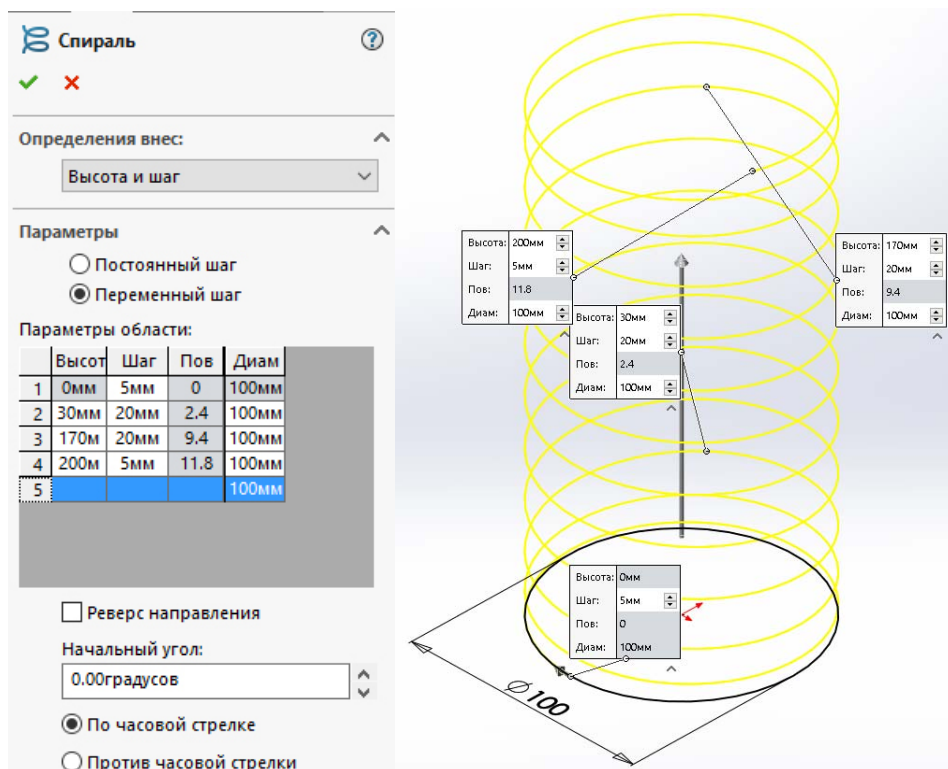


Рис. 3.33

Слід запам'ятати, що перший стовпчик в таблиці — початок інтервалу, другий — крок на початку інтервалу, третій — поворот (він задається автоматично) і четвертий — діаметр на інтервалі. Натискаємо

Креслимо переріз пружини: вкладка **Эскиз** > **Окружность**. Вибираємо площіть *Right (Справа)*. Намалюємо коло, як показано на рисунку нижче. Необхідно, щоб центр кола співпадав з початком пружини. Ставимо розмір окружності: вкладка **Эскиз** > **Автоматическое нанесение размеров** — задаємо діаметр 6 мм (рис. 3.34). Виходимо з ескизу .

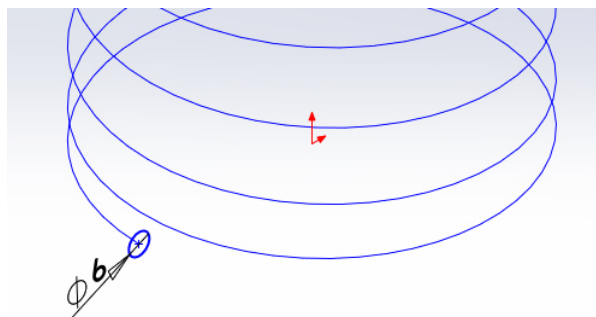




Рис. 3.34

Далі — вкладка **Элементы** > **Бобышка/основание по траектории**. Відкривається діалогове вікно *По траектории*. В якості Профіля

вибираємо ескіз окружності. В якості *Маршрута*  вибираємо *Спираль1* (рис. 3.35). Натискаємо .

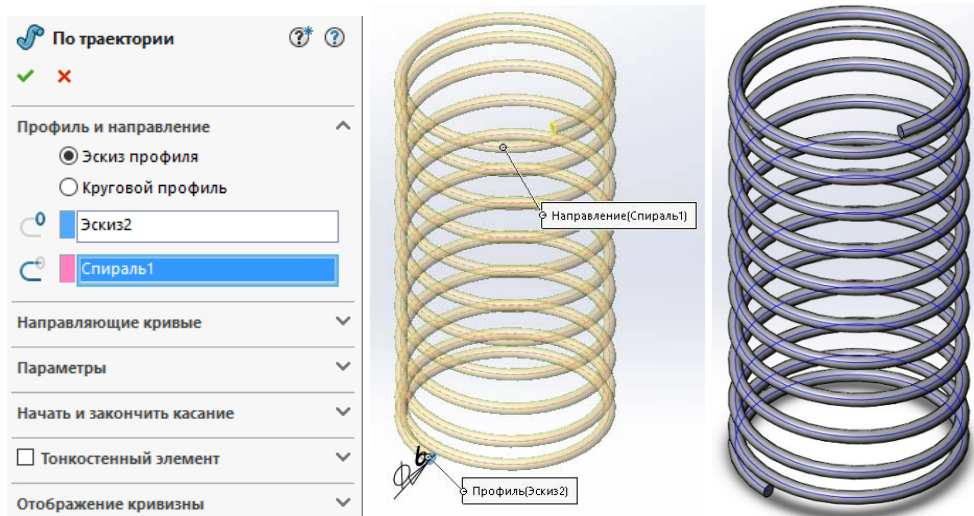







Рис. 3.35

Наступний крок — проведемо обрізку. Вкладка **Элементы** >  **Повернутый вырез**. На запит вибрати площіть обираємо площіть *Front* (*Спереди*). Для зручності побудови повертаємо модель **Пробел** >  **Спереди** або **CTRL1**. Будуємо ескіз, як показано на рис. 3.36 і проводимо осьову лінію. Виходимо з ескизу .

Відкривається вікно *Вырез-Повернуть* (рис. 3.37). Як *Оси вращения* , вибираємо осьову лінію на ескізі. Натискаємо .

Пружина готова. Зберігаємо деталь під ім'ям **Завдання_3.3**.

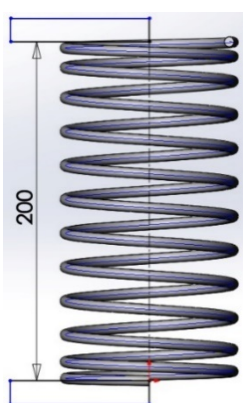


Рис. 3.36

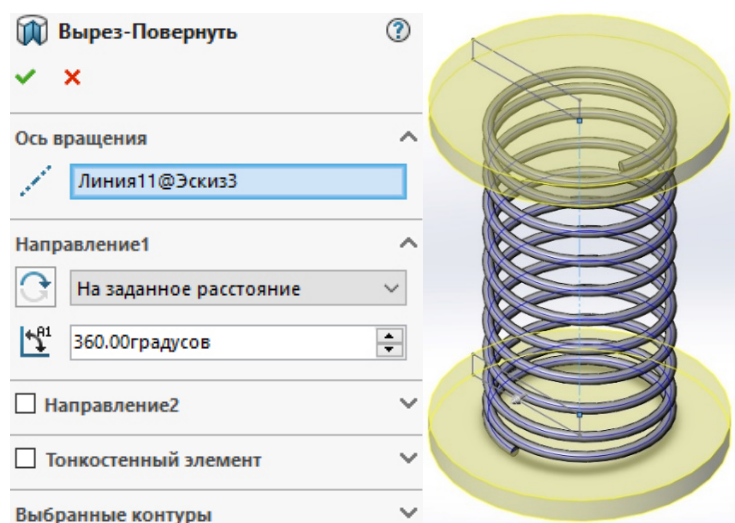


Рис. 3.37

3.4. Створення деталі за перерізами

Для створення деталі за перерізами (рис. 3.38) необхідно:

- створити необхідні допоміжні площини;
- побудувати профілі деталі на кожній площині;
- створити елемент за перерізами.

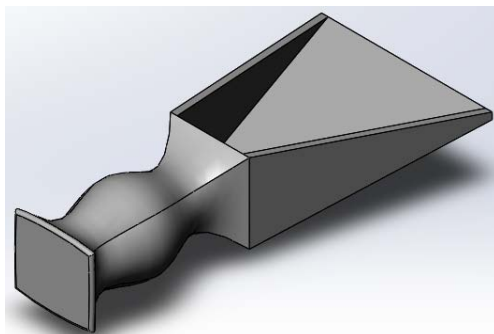


Рис. 3.38

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Зліва від графічної області — дерево конструювання. У ньому ПКМ натискаємо на площину *Front* і вибираємо **Отобразить**. Створюємо додаткові площині. На вкладці **Элементы** > **Справочная геометрия** > **Плоскость**. У графічній області вибираємо відображену площиність *Front*. Обрана площиність відображається в рядку *Первая ссылка* (рис. 3.39). У рядку *Расстояние смещения* вводимо 30 мм. Натискаємо .

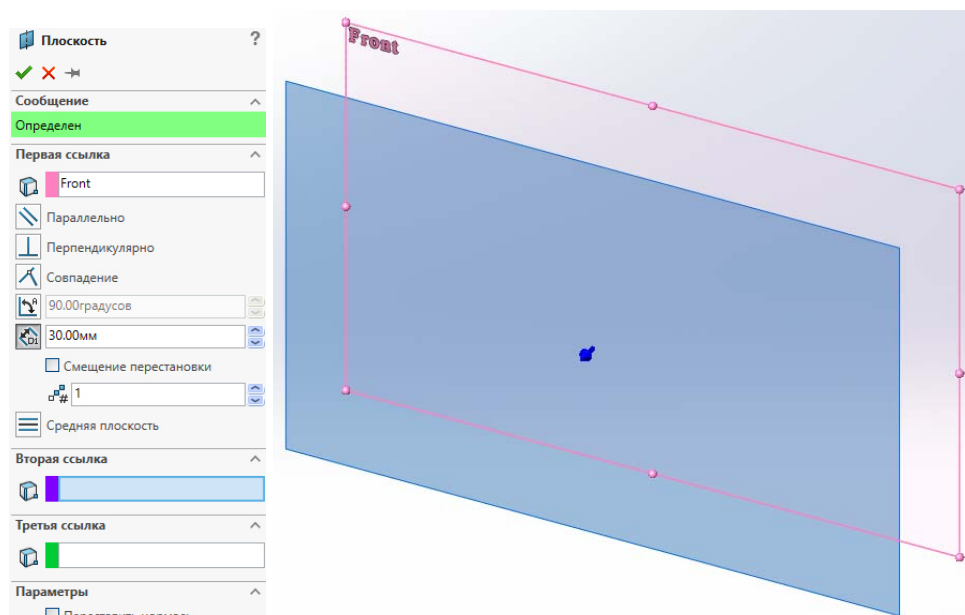


Рис. 3.39

Повторимо операцію створення площини. Вибираємо **Плоскость1**, вводим відстань зміщення 30 мм. Також можна створити площини копіюванням, для цього вибираємо **Плоскость2** і, утримуючи клавішу **Ctrl**, перетягуємо її за кромку. З'явиться **Плоскость3**. Вводимо відстань 40 мм. Аналогічно створюємо **Плоскость4** з відстанню 20мм (рис. 3.40).

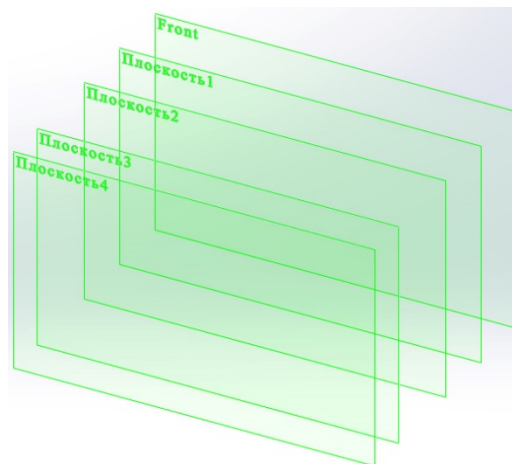


Рис. 3.40

Малюємо ескізи профілів. У графічній області вибираємо площини *Front*. Відкриваємо новий ескіз вкладка **Эскиз** > **Эскиз** та будуємо в цій площині квадрат — вкладка **Эскиз** > **Прямоугольник из центра**. Наносимо розміри, як показано на рис. 3.41. Вкладка **Эскиз** > **Автоматическое нанесение размеров**. Виходимо з ескізу .

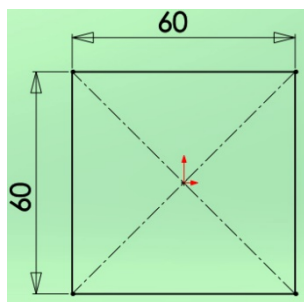


Рис. 3.41

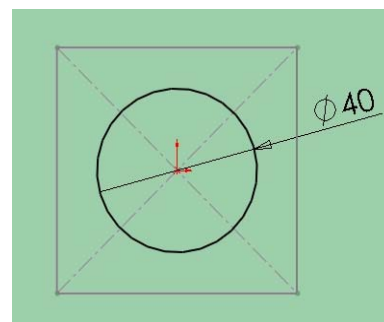


Рис. 3.42

Для зручності перегляду і побудови користуємося командами **CTRL7** (ізометрія) і **CTRL1** (вид спереду).

Вибираємо в графічній області *Плоскость1*. Відкриваємо новий ескіз **Эскиз**. Малюємо окружність, як показано на рис. 3.42: вкладка **Эскиз** > **Окружность**. Задаємо діаметр 40мм. Виходимо з ескізу .

Аналогічним чином створюємо окружність на *Плоскость2*, з діаметром 60 мм. На *Плоскость3* створюємо окружність діаметром 45 мм. На *Плоскости4* створюємо прямокутник висотою 60мм і шириною 70мм. Отримані ескізи зображені на рис. 3.43.

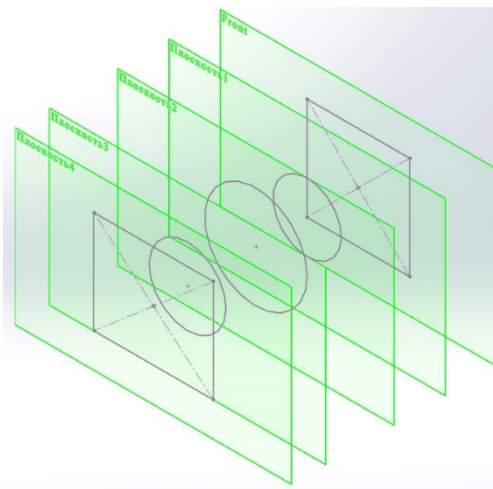




Рис. 3.43

Створюємо елемент по перерізах. Вкладка **Элементы** >  **Бобышка/Основание по сечениям**. Відкривається вікно *По сечениям* (рис. 3.44). У графічній області вибираємо ескізи в послідовності їх віддалення від площини *Front*. Вибрані ескізи відображаються в поле *Профили*, а в графічній області — попередній вигляд елемента. Натискаємо .

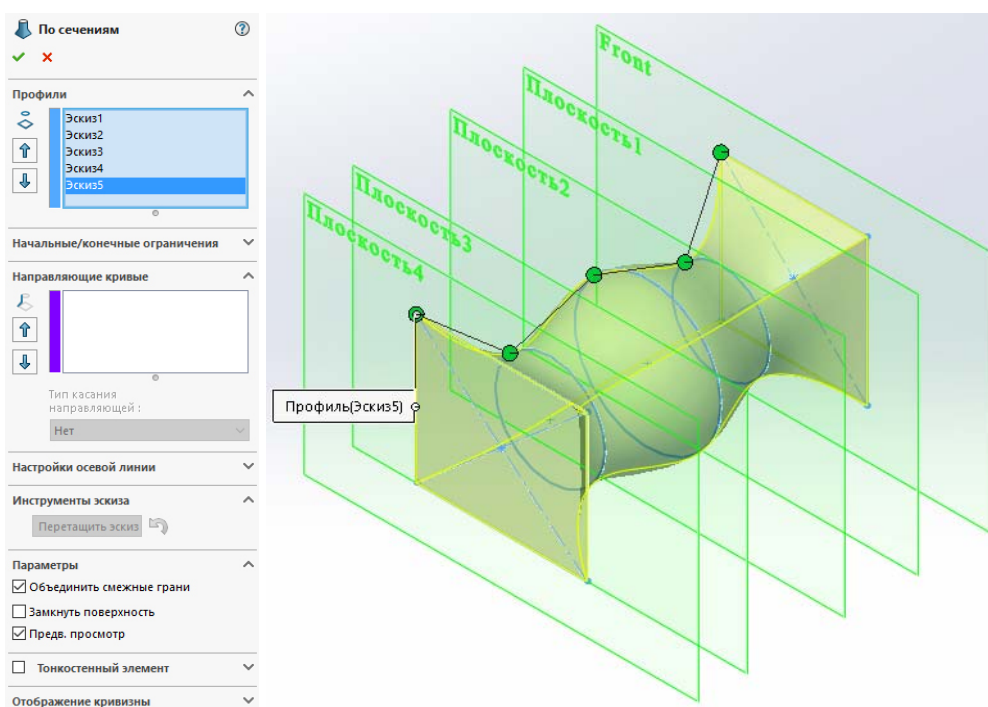


Рис. 3.44

Далі створюємо ще одну площість, як показано вище, віддалену від площисті *Front* на відстань 150 мм (рис. 3.45). Для зміни напрямку у вікні *Площисть* вибираємо опцію *Смещение перестановки*.

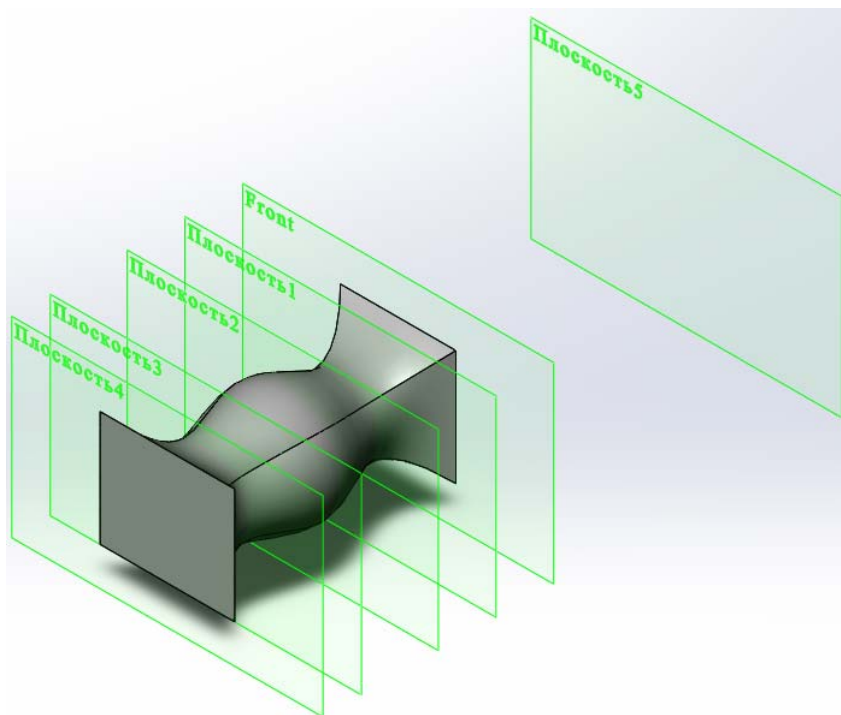


Рис. 3.45

Створюємо ескіз прямокутника (рис. 3.46) на *Площисть5*.

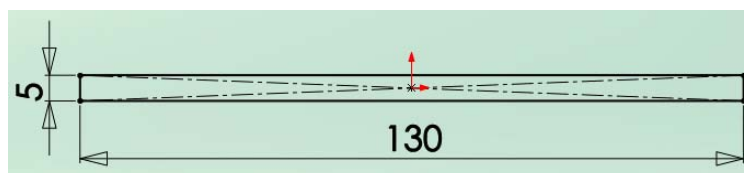






Рис. 3.46

Вкладка **Элементы** >  **Бобышка/Основание по сечениям**. Відкривається вікно *По сечениям*. У графічній області вибираємо раніше створений елемент по перерізах (квадрат), а також щойно створений ескіз прямокутника. На екрані з'являється попереднє зображення деталі по перерізах (рис. 3.47). Натискаємо .

Створимо закруглення.

Вкладка **Элементы** >  **Скругление** — вибираємо тип  *Скругление с постоянным размером*. У графічній області вибираємо чотири кромки прямокутника на *Площисті4*. Вказуємо радіус округлення 2 мм (рис. 3.48).

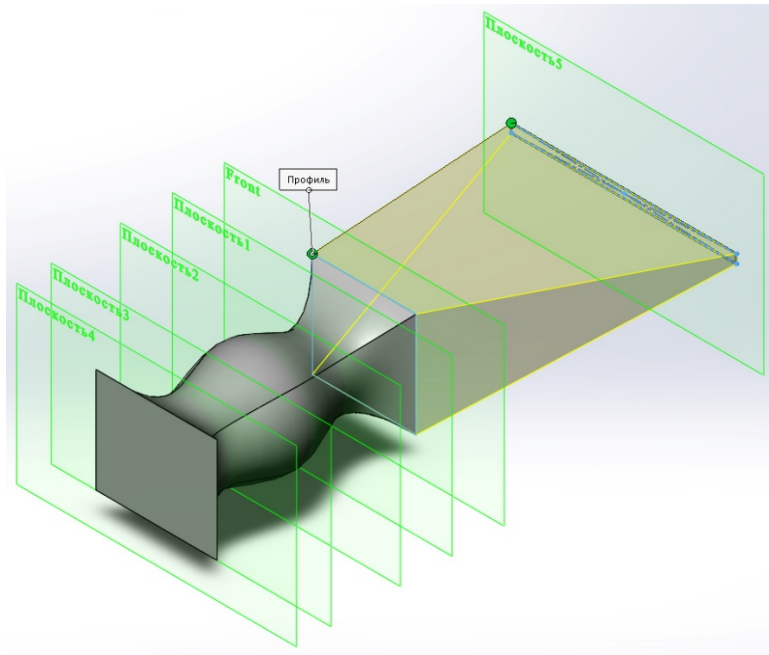
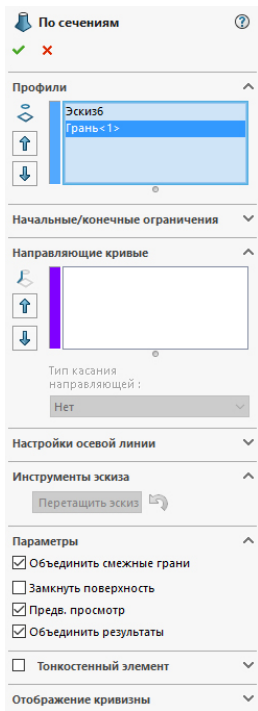


Рис. 3.47

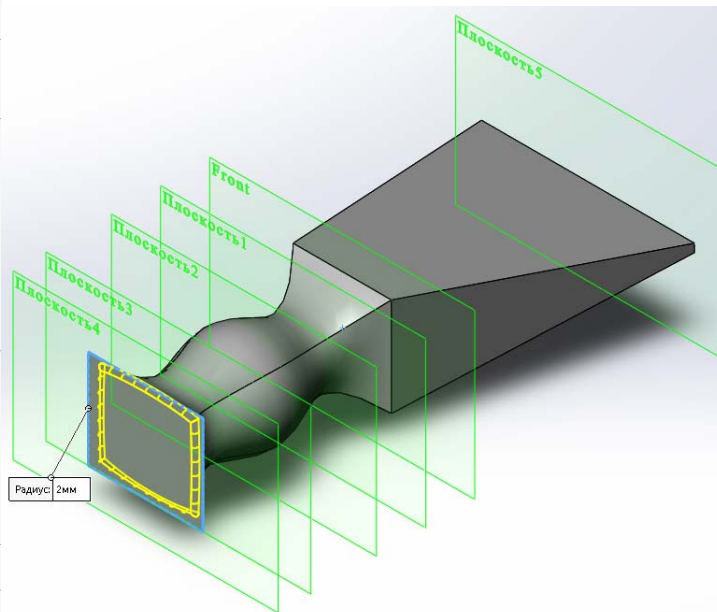
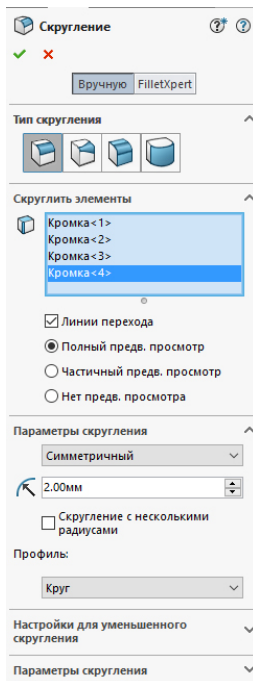





Рис. 3.48

Наступний крок — зробимо виріз за перерізами.

Для зручності допоміжні плоскості можна робити невидимими. Для цього, затиснувши **CTRL**, виділяємо потрібні плоскості, клацаємо ПКМ та в меню вибираємо  *Скрыть*. Плоскості можна обирати як в графічній області, так и у дереві конструювання.

На *Плоскості 5* будуємо прямокутник, наносимо розміри наведені на рис. 3.49. Виходимо з ескізу . Далі обираємо *Плоскість Front (Спереди)* та аналогічно будуємо прямокутник з розмірами, наведеними на рис. 3.50. Виходимо з ескізу .

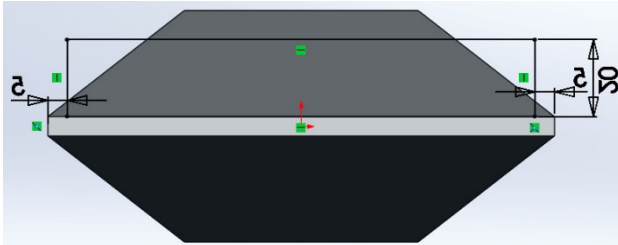


Рис. 3.49

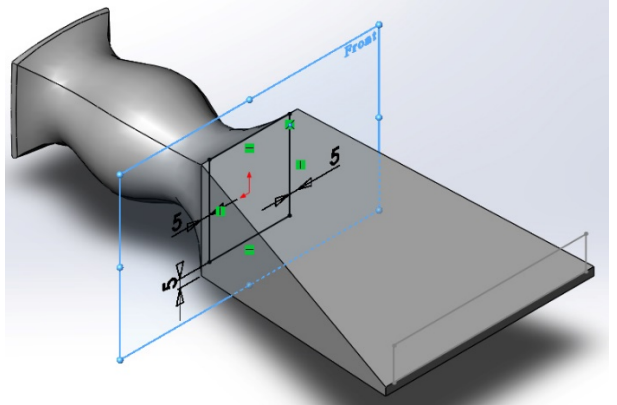




Рис. 3.50

Вкладка **Элементы** >  **Вырез по сечениям**. В графічній області обираємо два побудованих прямокутника (рис. 3.51). Щоб виріз був побудований коректно, обираємо відповідно один з кутів побудованого ескізу. Наприклад, лівий верхній кут *i* в першому, *i* в другому профілі. Натискаємо .

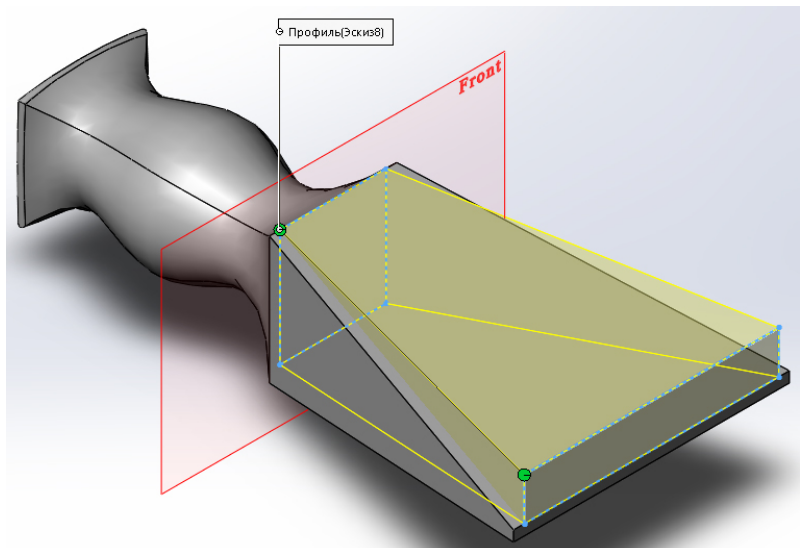
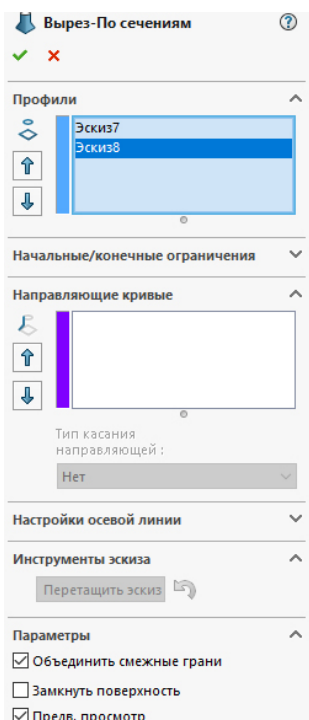




Рис. 3.51

Наша деталь готова. Зберігаємо її під ім'ям **Завдання_3.4**.

3.5. Створення деталі з листового металу

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Будуємо ескіз на площині. Вкладка **Эскиз** >  **Прямоугольник из центра**. Курсором обираємо площину *Front*. Проставляємо розміри, як показано на рис. 3.52: вкладка **Эскиз** >  **Автоматическое нанесение размеров**.

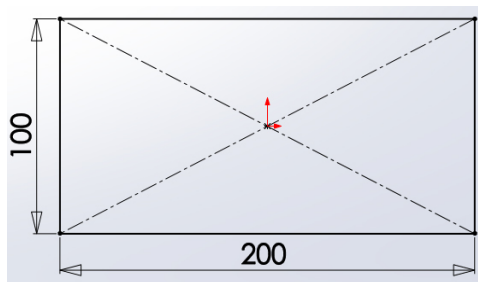






Рис. 3.52

Побудуємо прямокутник, усі сторони якого розташовані всередині на відстані 2 мм від вже побудованого. Це буде товщина металу. Вкладка **Эскиз** >  **Смещение объектов**. Виділяємо всі сторони прямокутника і у вікні *Эквидистантные* задаємо відстань  2 мм і **Реверс** (рис. 3.53), натискаємо . Виходимо з ескизу .

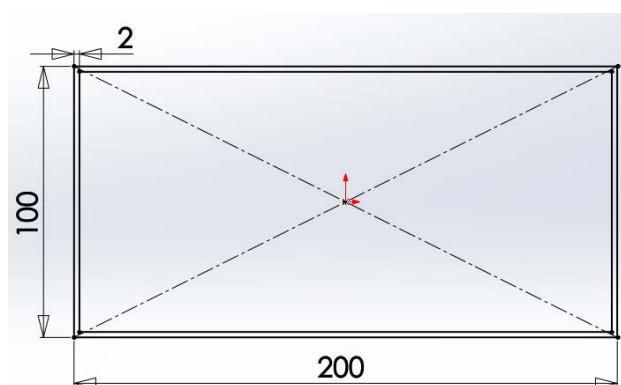
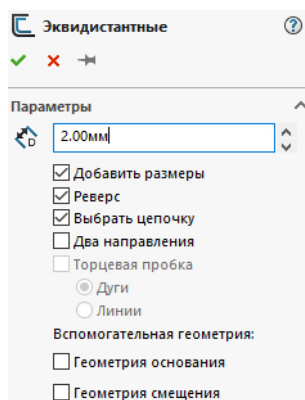






Рис. 3.53

Витягнемо ескіз: вкладка **Элементы** >  **Вытянутая бобышка/основание**. Відкривається вікно команди *Бобышка-Вытянуть*, а вид ескизу буде показаний в ізометрії.

У меню  *Граничные условия* вибираємо *На заданное расстояние*. Встановлюємо  *Глубину* 50 мм (рис. 3.54). Натискаємо .

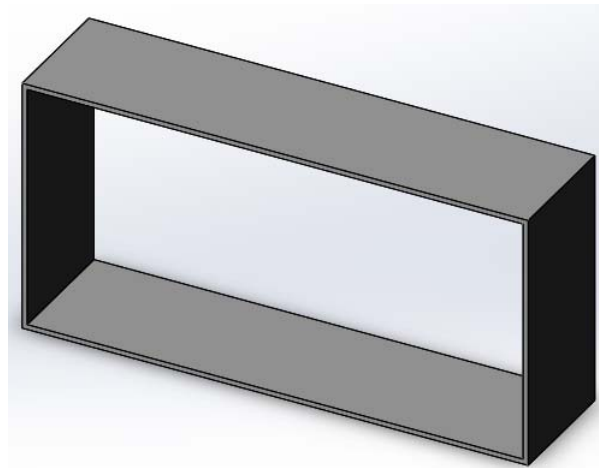
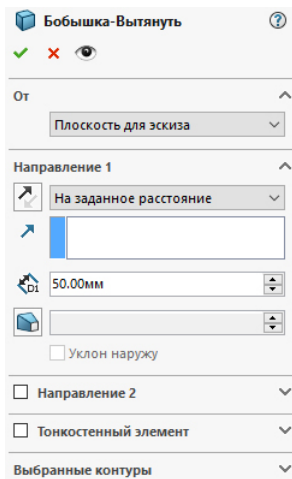


Рис. 3.54

Наступний крок — створення днища коробу. Для цього створимо другий ескіз. Обираємо в дереві конструювання площину *Front*. Для зручності відображення натискаємо **CTRL1**, з'явиться вид спереду. Вкладка **Эскиз** > **Эскиз**.

Вкладка **Эскиз** > **Преобразование объектов**. Обираємо кромки зовнішнього прямокутника. В результаті виконання команди з'являється повністю визначений ескіз прямокутника, рівного вихідному (рис. 3.55). Виходимо з ескизу .

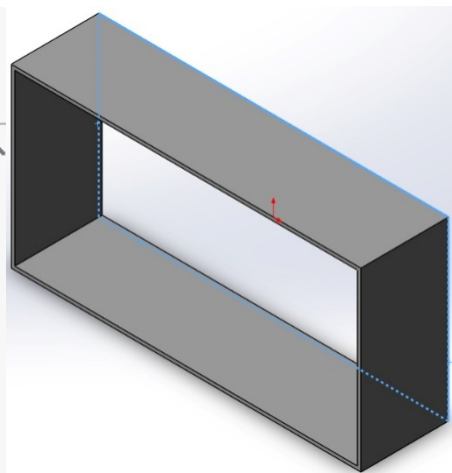
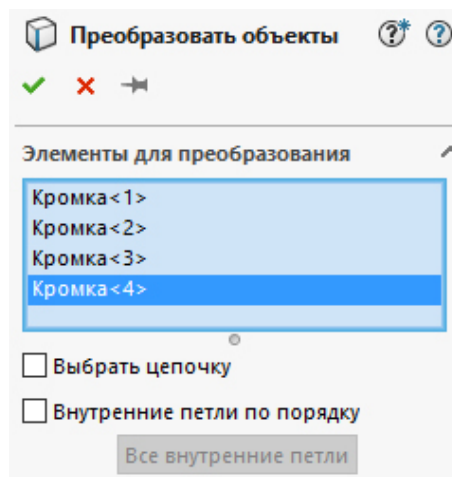





Рис. 3.55

Витягнемо щойно створений ескіз: вкладка **Элементы** > **Вытянутая бобышка/основание**. У діалоговому вікні *Бобышка–Вытянуть*, в меню *Граничные условия* обираємо *На заданное расстояние*. Встановлюємо *Глубину* 2 мм та реверс напрямлення. Опція *Об'єднати результати* повинна бути включена. Натискаємо .

Наступний крок — створення вирізу у бокових гранях коробу. На вкладці **Элементы** > **Вытянутый вырез**. На запит вибрати площість — вказуємо бокову грань. Креслимо окружність — вкладка **Эскиз** > . Вказуємо діаметр окружності: на вкладці **Эскиз** вибираємо . Діаметр окружності 25 мм. Також проставляємо необхідні розміри, як показано на рис. 3.56. Вихід з ескізу .

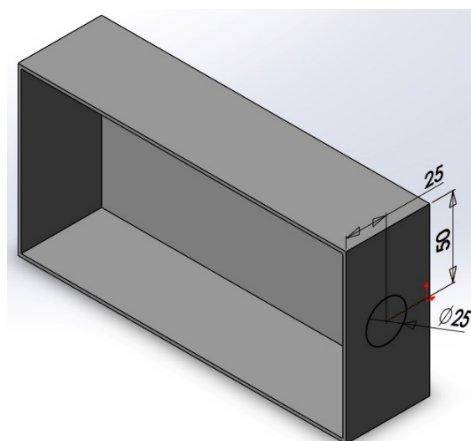



Рис. 3.56

Відкривається вікно *Вытянуть*, в якому в меню *Граничные условия* вибираємо *Насквозь* (рис. 3.57). Натискаємо . В результаті отримуємо деталь, зображену на рис. 3.58, а в дереві конструювання — новий елемент *Вырез-Вытянуть1*.

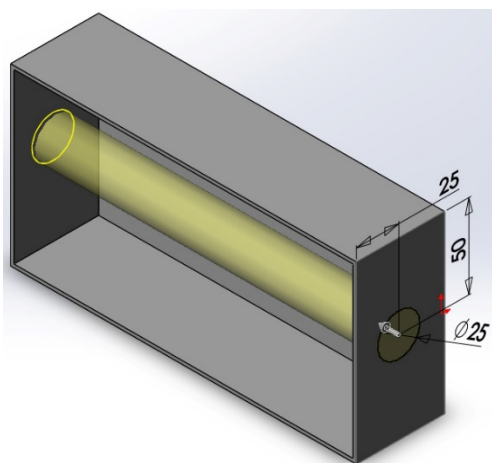
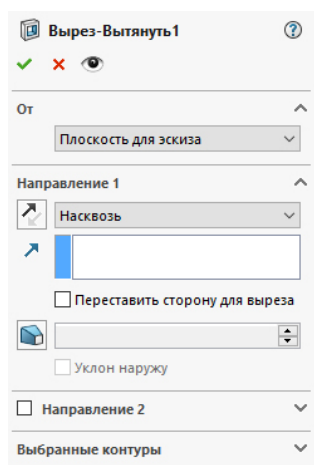


Рис. 3.57

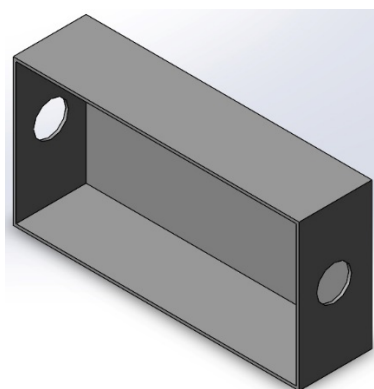



Рис. 3.58

Наступний крок перетворює тверде тіло в листовий метал. Меню **Вставка** > **Листовой металл** > **Преобразовать в листовой металл** . З'являється вікно *Перевести в листовой металл*. Спочатку вибираємо грань, яка буде зафіксована. Вибираємо внутрішню грань днища (рис. 3.59). Далі

вибираємо кромки згину — сторони внутрішньої основи (прямокутника), як показано на рис. 3.60.

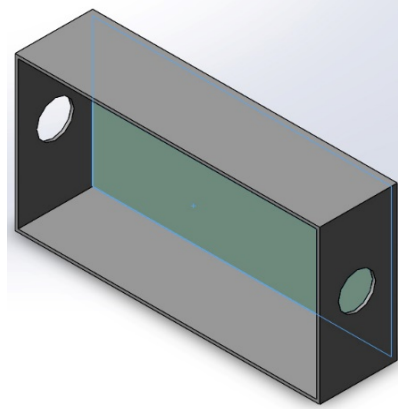




Рис. 3.59

Кромки розривів будуть знайдені програмою автоматично. Товщину листа і радіус згину за замовчуванням призначаємо рівними 2 мм. Далі в розділі *Параметри угла за умовчанням* задаємо стандартний зазор для всіх розривів  0,5 мм. Натискаємо .

Отримана деталь зображена на рис. 3.61.

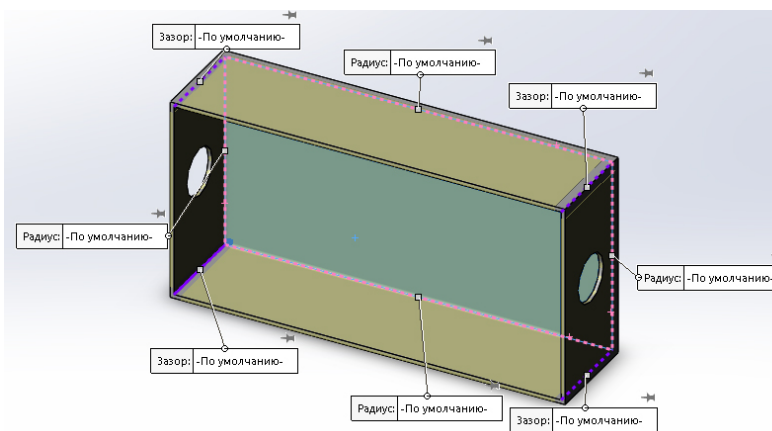


Рис. 3.60

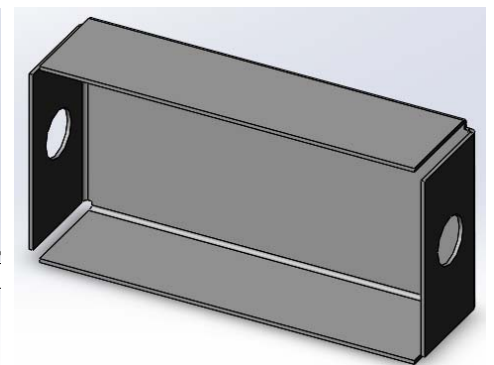



Рис. 3.61

Щоб переглянути розгортку деталі з листового металу, в дереві конструювання робимо два клацання по *Развертка*, далі ПКМ натискаємо на *Развертка1* і в меню вибираємо  **Высветить**.

Розгортка матиме вигляд, наведений на рис. 3.62.

Зберігаємо деталь під ім'ям **Завдання_3.5**.

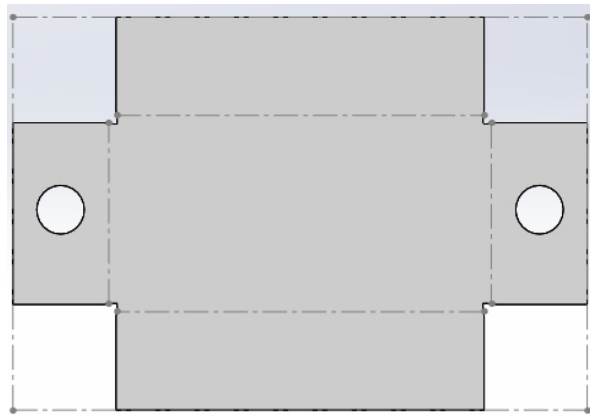


Рис. 3.62

3.6. Створення конфігурацій деталі вручну

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Будуємо ескіз пропорційного циліндричного зразка на плоскості. Вкладка **Эскиз** > **Эскиз**. Вибираємо плоскість **Front**. Для зручності проведемо осьову лінію: вкладка **Эскиз** > **Линия** > **Осевая линия**. Далі самостійно будуємо ескіз, як показано на рис. 3.63.

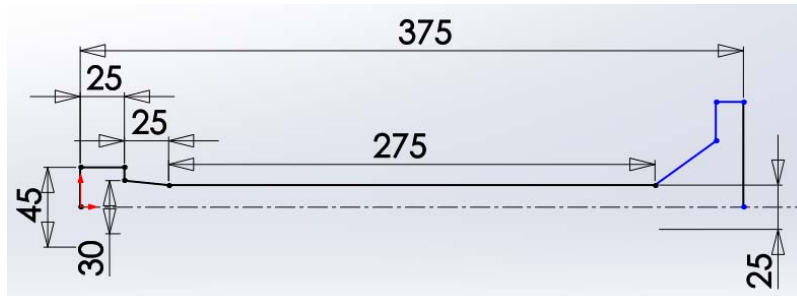



Рис. 3.63

Щоб ескіз був повністю визначений, використовуємо взаємозв'язки. Затиснувши **CTRL**, виділяємо дві горизонтальні лінії, відмічені на рисунку синім. У вікні *Свойства* задаємо **Коллинеарный**. Далі аналогічно задаємо **Равенство** парам ліній, які залишилися невизначеними. В результаті ескіз буде пофарбований в чорний колір. Вихід з ескизу .

Створюємо тіло обертання (рис. 3.64) — вкладка **Элементы** > **Повернутая бобышка/Основание**. У графічній області вказуємо горизонтальну вісь. Система показує попередній вигляд тіла обертання.

Натискаємо . Збережемо деталь під ім'ям **Пропорциональный цилиндрический образец**.

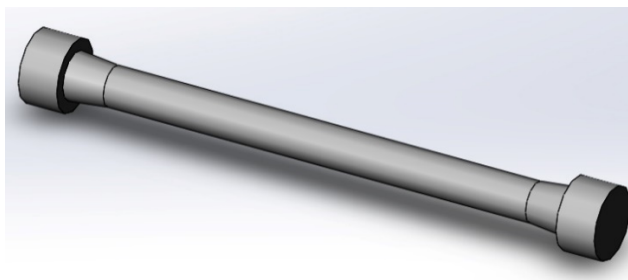



Рис. 3.64

Наступний крок — створення конфігурації деталі. Заходимо у вкладку **Configuration Manager (Менеджер конфігурацій)** (рис. 3.65). ПКМ натискаємо на нашу деталь в дереві, і в меню вибираємо  **Добавить конфигурацию...**

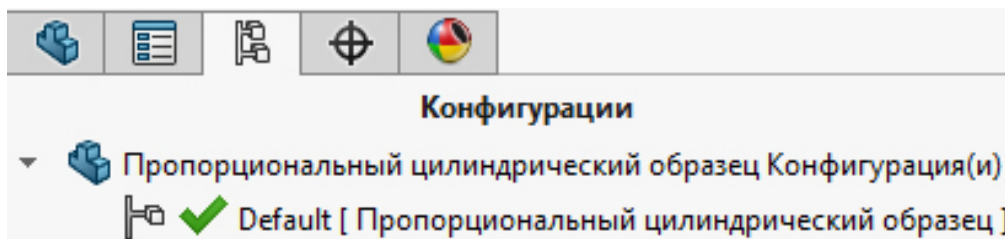






Рис. 3.65

Відкриється вікно *Добавить конфигурацию*. В рядку *Имя конфигурации* вводим: **Пропорциональный цилиндрический образец_1**. 

У дереві з'являється наша нова конфігурація. Те, що вона підсвічена, говорить про те, що ця конфігурація в даний момент активна і відображається в графічній області.

В даний момент наша первісна деталь і нова конфігурація деталі мають однакові розміри. Змінимо розміри у новій конфігурації. Для цього заходимо у вкладку **Дерево конструирования**. Натискаємо ПКМ на елементі **Повернуть1** і вибираємо **Редактировать эскиз** (рис. 3.66). Відкривається ескіз для редагування. Змінимо розмір 275 мм на 220 мм. Для цього двічі клацаємо на розмірі. Відкривається вікно *Изменить*, в якому вводим 220 і в закладці міняємо  *Все конфигурации* на  *Эта конфигурация* (рис. 3.67). Натискаємо .

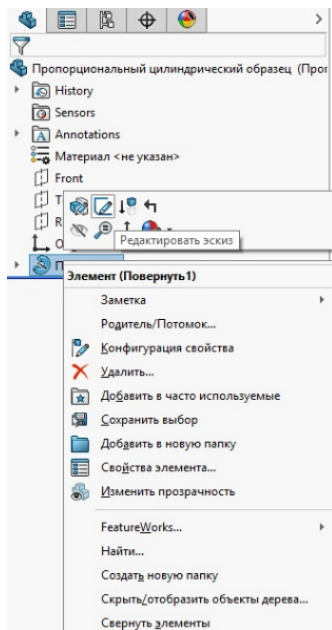


Рис. 3.66

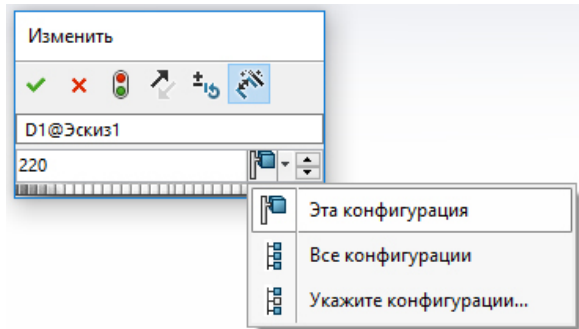


Рис. 3.67

Аналогічним чином змінюємо інші розміри, як показано на рис. 3.68.

!!! Не забуваємо міняти Все конфигурации на Эта конфигурация !!!

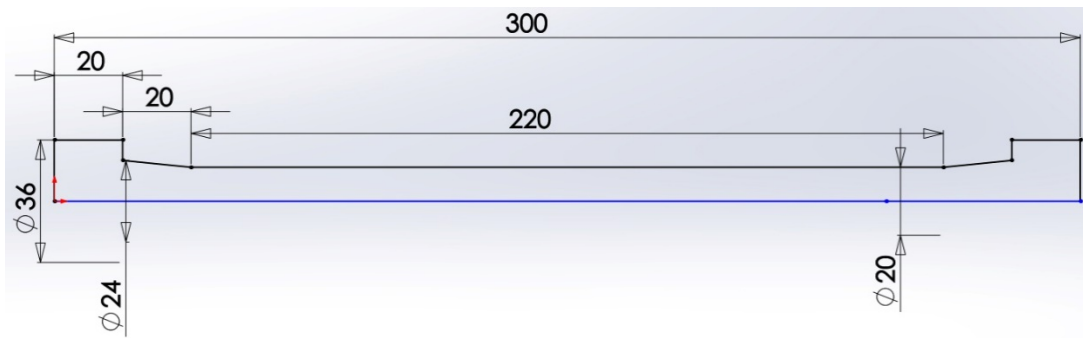


Рис. 3.68

Після зміни розмірів виходимо з ескізу . У графічній області відображається деталь з новими розмірами.

Далі заходимо у вкладку **Configuration Manager**. Щоб відобразити нашу первісну деталь натискаємо на ній ПКМ в дереві і вибираємо **Отобразить конфигурацию** (рис. 3.69).

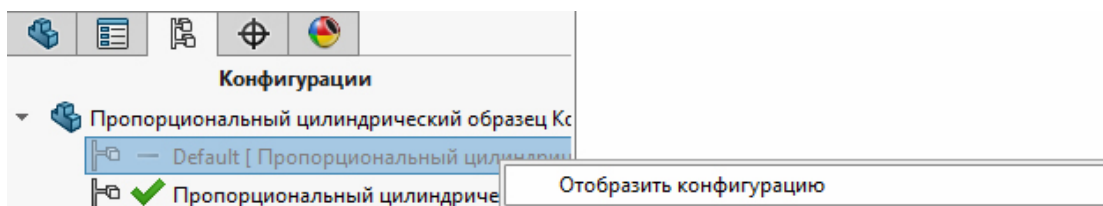


Рис. 3.69

Самостійно створіть ще одну конфігурацію з назвою **Пропорциональный цилиндрический образец_2** з розмірами, які наведені на рис. 3. 70.



Рис. 3.70

Вихід з ескізу . Зберігаємо деталь під ім'ям **Циліндричний зразок**.

3.7. Створення конфігурацій з використанням таблиць параметрів

Відкриваємо модель деталі **Циліндричний зразок**, збережену після попереднього уроку. Деталь має розміри наведені на рис. 3.71.

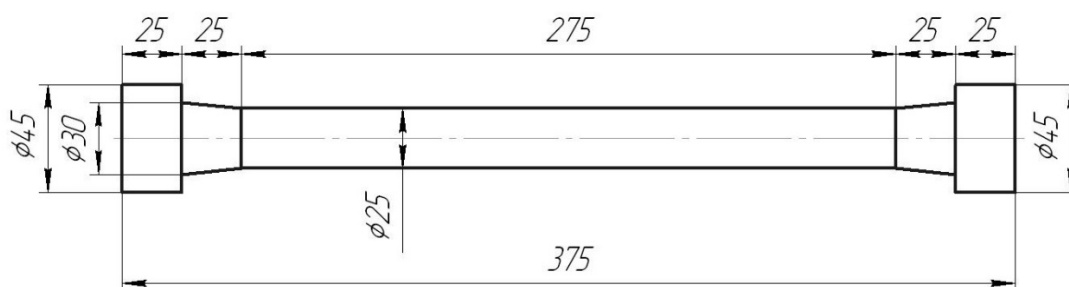




Рис. 3.71

Наступний крок — створення таблиці параметрів. Меню **Вставка > Таблицы >  Таблицы параметров**. Відкривається вікно *Таблица параметров* (рис. 3.72). У цьому вікні, в полі *Источник* вибираємо пункт **Пустой**, інші параметри залишаємо за замовчуванням. Натискаємо .

У вікні *Добавить ряды и столбцы* натискаємо **ОК**, нічого не вибираючи.

У робочій області відкривається вікно таблиці (рис. 3.73).

Закриваємо вікно таблиці, натиснувши ЛКМ в графічній області моделі.

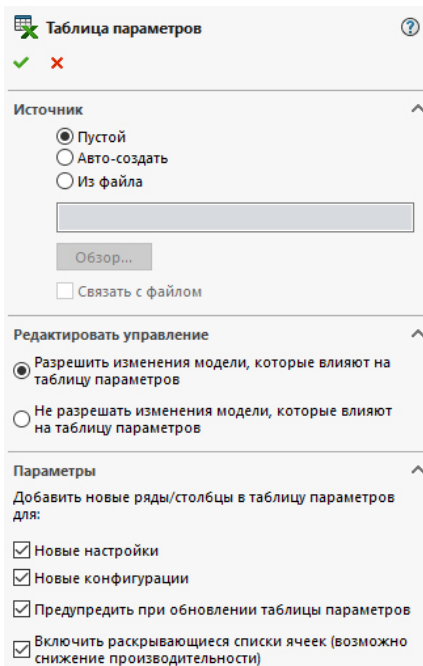


Рис. 3.72

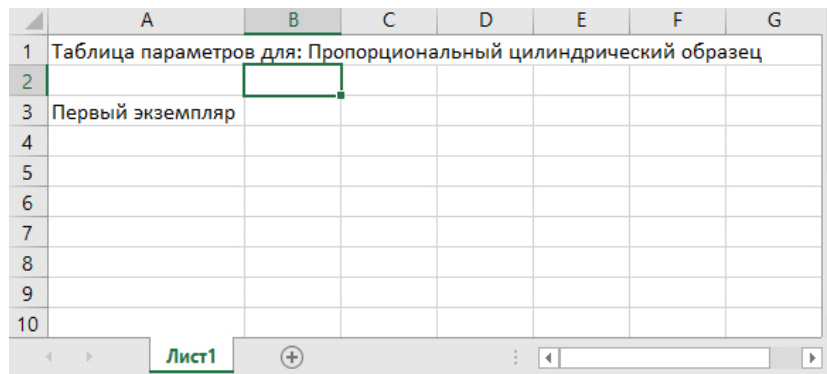


Рис. 3.73

Заходимо в **Дерево конструювання** і натискаємо ПКМ на елементі **Повернуть1**. У меню вибираємо **Редактировать эскиз** (рис. 3.74).

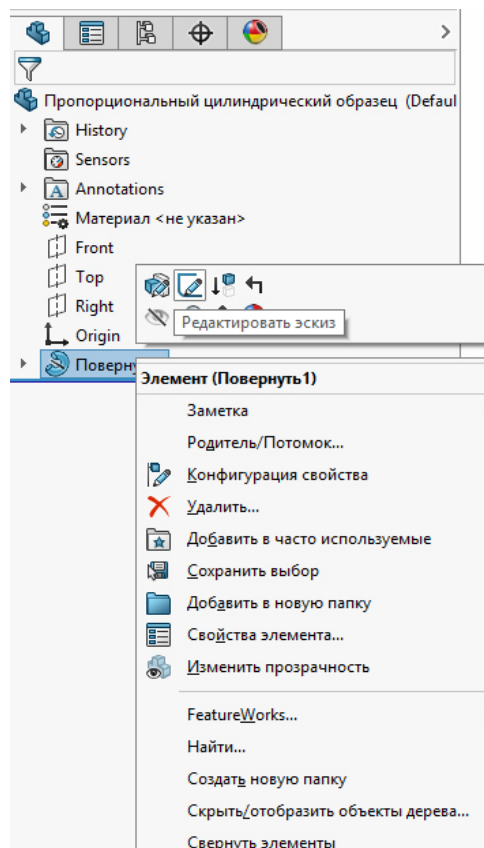



Рис. 3.74

Обираємо вид **Спереди**  для зручного відображення ескізу **CTRL1** (рис. 3.75).

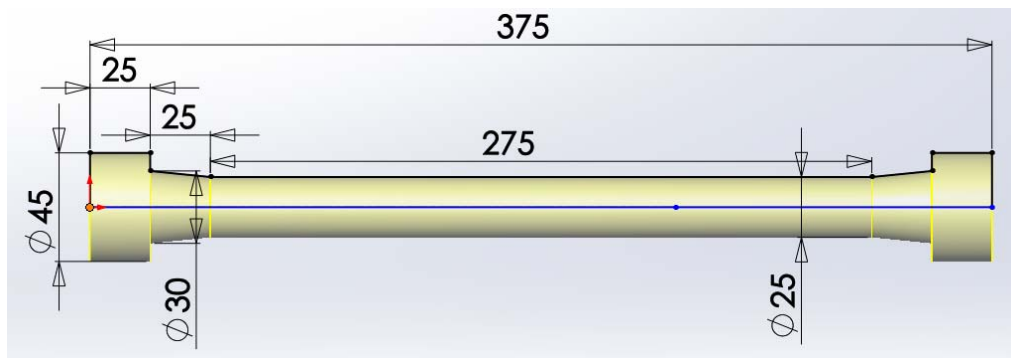


Рис. 3.75


Далі вибираємо закладку **Configuration Manager**, і на елементі **Таблица параметров** натискаємо ПКМ. У меню вибираємо **Редактировать таблицу**.

Відкривається таблиця з активною клітинкою **B2**. В області ескізу наводимо курсор миші на розмір **Ø45** і подвійним клацанням ЛКМ виділяємо його. У вікні *Изменить* натискаємо . Автоматично в клітинці **B2** з'явилося програмне позначення розміру **D5@Эскиз1**, а в клітинці **B3** його чисельне значення — 45 мм. Активною стала клітинка **C2**. Далі подвійним клацанням ЛКМ обираємо розмір **Ø30**. Дані цього розміру відобразяться в осередках **C2**, **C3**. Аналогічним чином обираємо інші розміри в наступному порядку: **25 (D6@Эскиз1)**, **25 (D7@Эскиз1)**, **275 (D1@Эскиз1)**, **375 (D2@Эскиз1)**, **Ø25 (D3@Эскиз1)**. Потім змінимо назву **Первый экземпляр** на 1 (клітинка **A3**). Таблиця параметрів матиме такий вигляд (рис. 3.76):

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Таблица параметров для: Пропорциональный цилиндрический образец							
2		D5@Эскиз1	D4@Эскиз1	D6@Эскиз1	D7@Эскиз1	D1@Эскиз1	D2@Эскиз1	D3@Эскиз1
3	1	45	30	25	25	275	375	25
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Рис. 3.76

Програмні позначення розмірів можуть не збігатися з вищенаведеними, так як залежать від порядку призначення розмірів.

Виходимо з редагування ескизу  і натискаємо ЛКМ в робочому вікні. Відкривається вікно-повідомлення про те, що створена конфігурація з ім'ям **1** (рис. 3.77). Натискаємо **ОК**.

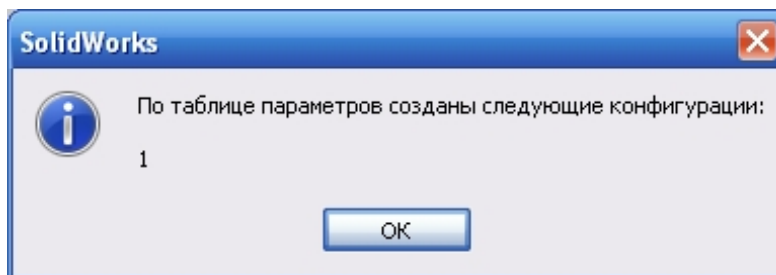



Рис. 3.77


У закладці **Менеджер конфігурацій (Configuration Manager)** з'явився новий елемент з назвою **1**. Розміри цієї конфігурації аналогічні розмірам нашої початкової деталі (Default).

Наступним кроком буде зміна розмірів конфігурації **1**. Для цього ПКМ натискаємо на **Таблица параметров**. В меню вибираємо **Редактировать таблицу**. Змінюємо числові значення в рядку **1**, як показано на рис. 3.78. Нажимаем **ОК**.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Таблица параметров для: Пропорциональный цилиндрический образец						
2		D5@Эскиз1	D4@Эскиз1	D6@Эскиз1	D7@Эскиз1	D1@Эскиз1	D2@Эскиз1	D3@Эскиз1
3	1	36	24	20	20	220	300	20
4								

Рис. 3.78

Після введення всіх значень натискаємо . У графічній області відобразиться деталь **Цилиндрический образец** в конфігурації **1** з новими розмірами.

Створимо нову конфігурацію під назвою **2**. Для цього знову заходимо в редагування таблиці: **Таблица параметров > Редактировать таблицу**. В клітинці **A4** вводимо назву нової конфігурації — **2**. В рядку **2** вводимо числові значення розмірів, як показано на рис. 3.79. После ввода всех значений нажимаем .


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Таблица параметров для: Пропорциональный цилиндрический образец							
2		D5@Эскиз1	D4@Эскиз1	D6@Эскиз1	D7@Эскиз1	D1@Эскиз1	D2@Эскиз1	D3@Эскиз1
3	1	36	24	20	20	220	300	20
4	2	28	18	15	15	165	225	15
5								

Рис. 3.79

Аналогічним чином створюємо ще кілька конфігурацій з назвами і розмірами, наведеними на рис. 3.80.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Таблица параметров для: Пропорциональный цилиндрический образец							
2		D5@Эскиз1	D4@Эскиз1	D6@Эскиз1	D7@Эскиз1	D1@Эскиз1	D2@Эскиз1	D3@Эскиз1
3	1	36	24	20	20	220	300	20
4	2	28	18	15	15	165	225	15
5	3	20	12	10	10	110	150	10
6	4	16	10	8	8	88	120	8
7	5	13	8	6	6	66	90	6
8	6	11	7	5	5	55	75	5

Рис. 3.80

Після введення всіх значень натискаємо . SolidWorks автоматично створює введені конфігурації і вони відображаються в закладці **Configuration Manager** (рис. 3.81).

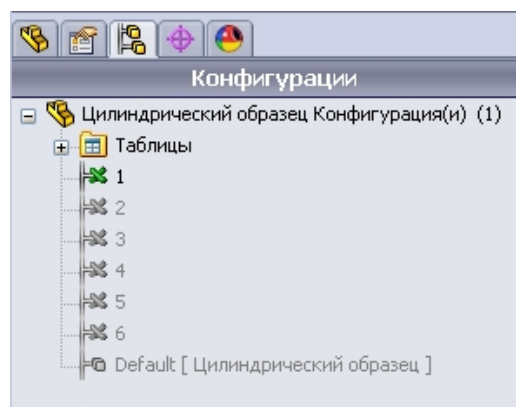


Рис. 3.81


Для відображення певної конфігурації двічі клацаємо на ній ЛКМ у вкладці **Configuration Manager**.


Зберігаємо файл під ім'ям **Циліндричний зразок** в папку **Завдання_3.7**.


3.8. Моделивання і створення креслення шибера

Створюємо документ нової деталі:

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Відкриваємо ескіз: на панелі інструментів вибираємо вкладку **Эскиз** і натискаємо . Далі курсором миші в графічній області вибираємо площину *Front (Спереди)*, на якій необхідно створити ескіз.

Вкладка **Эскиз** >  **Прямоугольник из центра**. Креслимо прямокутник розміром 322*460. Проставляємо розміри **Эскиз** > **Автоматическое нанесение размеров** як показано на рис. 3.82.

Будуємо 4 фаски: вкладка **Эскиз** >  **Фаска**, вводимо відстань $D1$ – 3 мм і $D2$ – 5мм, як показано на рис. 3.83. Після чого в графічній області вказуємо кути прямокутника.

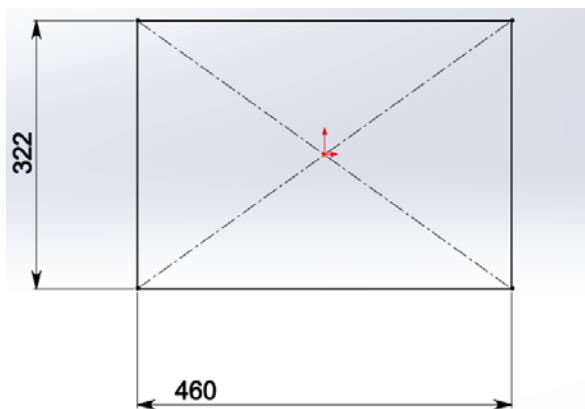


Рис. 3.82

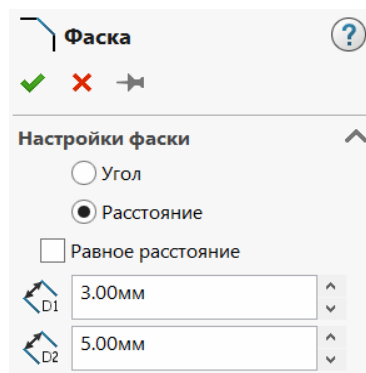


Рис. 3.83

Далее строим четыре отверстия диаметром 6,2 мм, как показано на рис. 3.84.

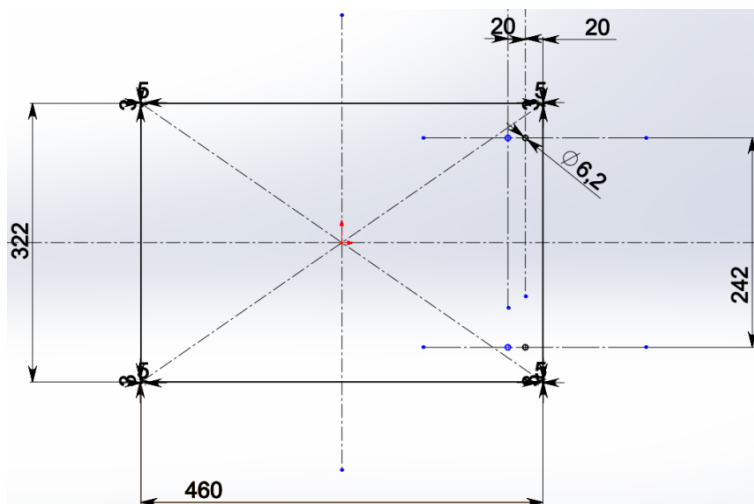




Рис. 3.84

Для зручності роботи натискаємо ПКМ на існуючі вкладки і в списку, вибираємо **Листовой металл**. Після цього вкладка **Листовой металл** буде закріплена на панелі інструментів. Вкладка **Листовой металл** >  **Базовая кромка/выступ**. У вікні *Базовая кромка* в поле *Настройки листового металла* вибираємо товщину листа 3 мм (рис. 3.85). **ОК** .

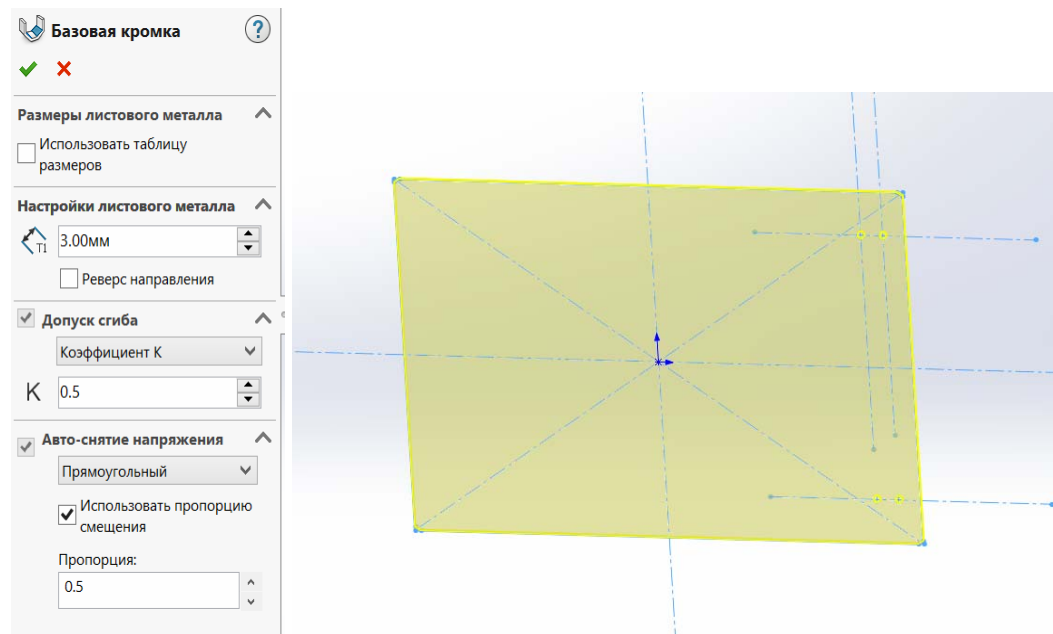



Рис. 3.85

Зберігаємо модель з ім'ям **Шибер**. Наступний крок — створимо креслення цієї деталі. У меню **Файл** >  **Создать чертеж из детали**. У вікні *Формат листа/Размер* вибираємо *A4-Sheet1 (ГОСТ)* (рис. 3.86). **ОК**.

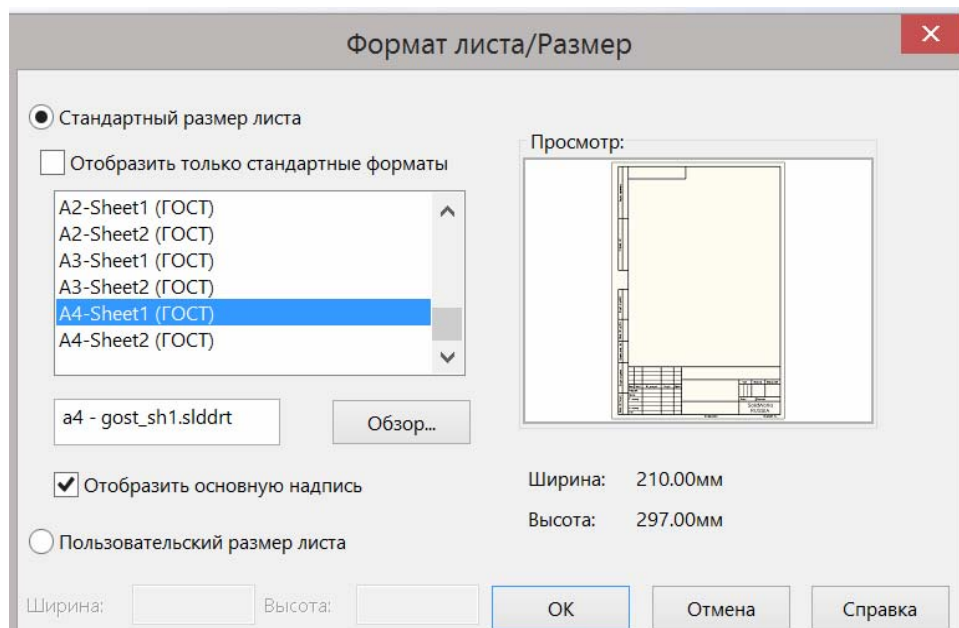


Рис. 3.86

У вікні *Палитра видов*, розташованому праворуч (рис. 3.87), представлені види шибера, які можна перемістити на креслярський лист.

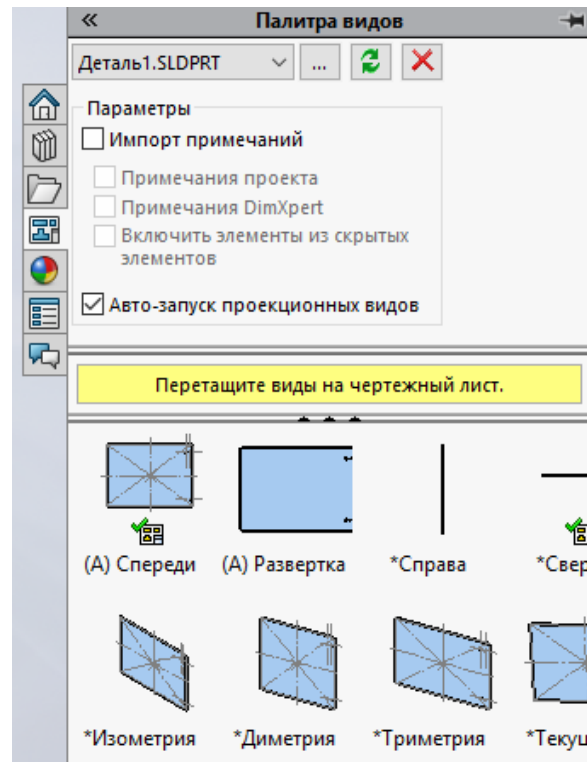


Рис. 3.87

Перемістимо на креслярський лист вид *Спереди*. Після цього програма автоматично запропонує створити інші проекції деталі. Створимо вид *Сверху* (рис. 3.88). Далі натиснемо **ESC**. Далі проставляємо розміри (рис. 3.89).

Вкладка **Примечание** > **Автоматическое нанесение размеров**.

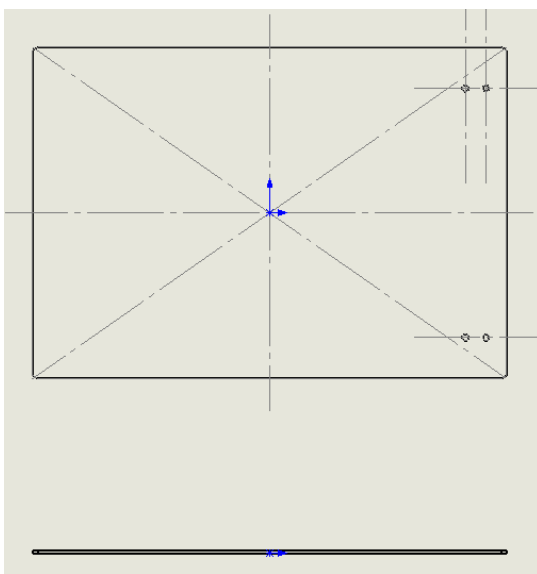


Рис. 3.88

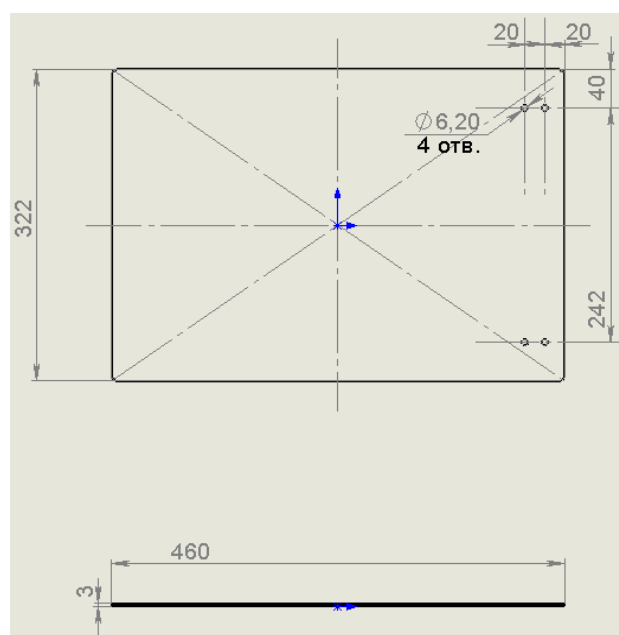


Рис. 3.89

Проставляємо діаметри отворів. Для цього додаємо необхідний формат розмірів. Меню **Инструменты > Параметры > Свойства документа > Размеры**. В розділах **Радиус** і **Диаметр** вибираємо *Выноска с разрывом, текст по горизонтали*. **ОК** (рис. 3.90). Проставляємо діаметр 6,2.

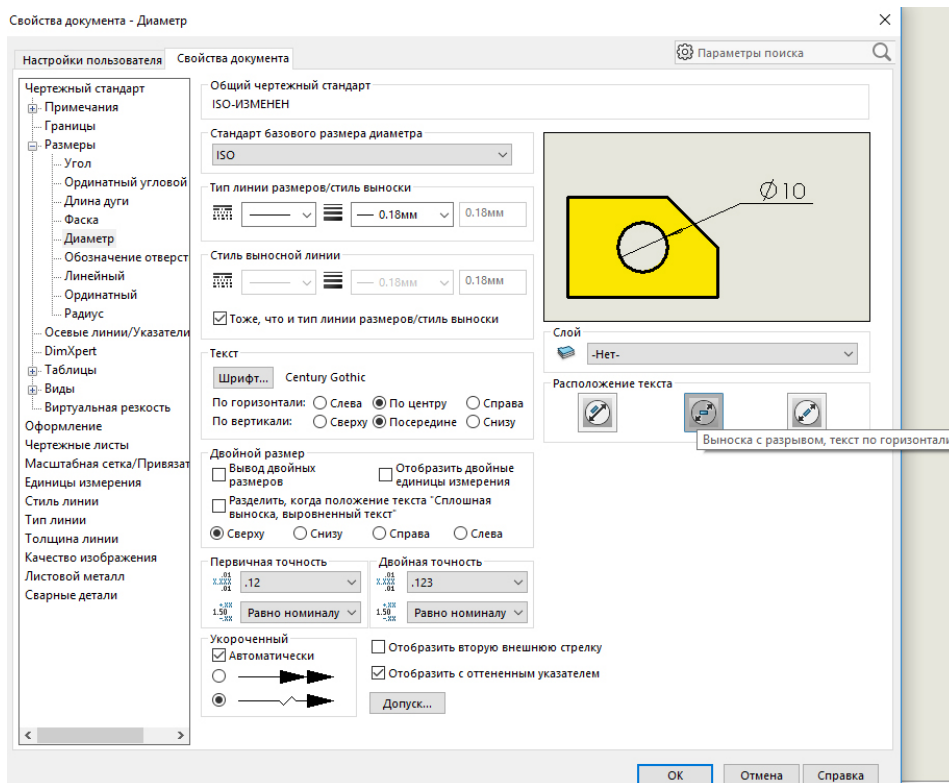
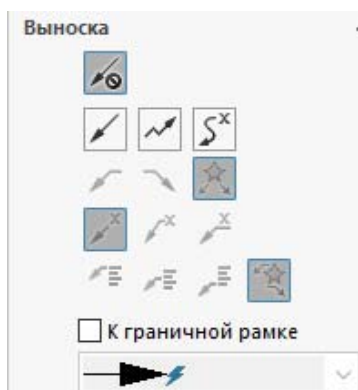
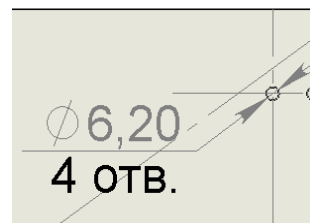


Рис. 3.90

Вказуємо, що отворів чотири. Вкладка **Примечание > А Заметка**. В вікні *Заметки*, в полі *Выноска* вибираємо *Нет выноски* (рис. 3.91, а) і вводимо текст *4отв* (рис. 3.91, б), вказуючи формат і розмір шрифту.



а



б

Рис. 3.91

Проставляємо розмір фасок. Спочатку зробимо місцевий вид: **А Расположение вида > Местный вид** (рис. 3.92). Задаємо розмір між

лініями, що обмежують фаску, а потім в ручному режимі вводимо додаткові параметри у вікні *Текст размера* (рис. 3.93). Вказуємо, що такі фаски чотири.

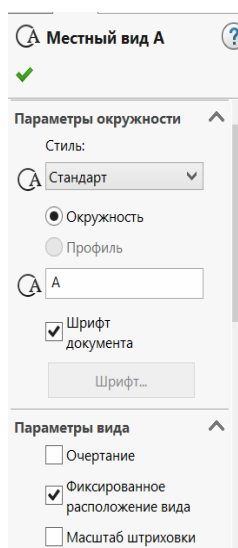


Рис. 3.92

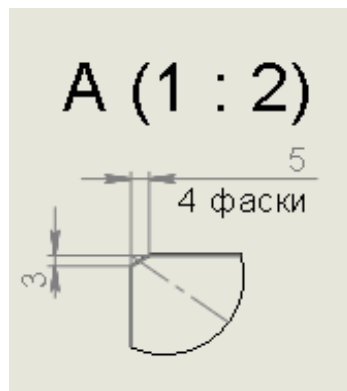


Рис. 3.93

На даному етапі креслення прийме такий вигляд (рис. 3.94).

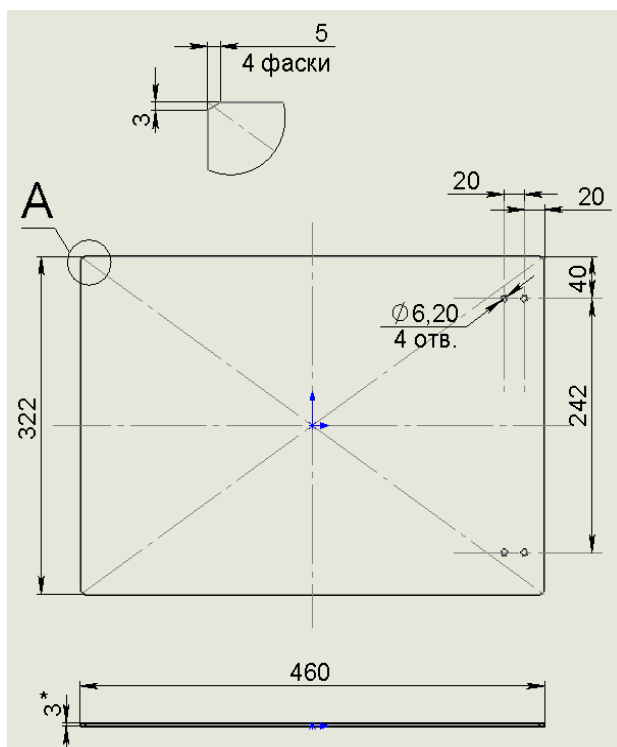


Рис. 3.94

Завершуємо проставлення виносок відповідно до рис. 3.95, використовуючи для цього функцію **A Заметка**. Щоб у виносці поставити знак \pm , у вікні *Заметка* натискаємо кнопку **Добавить обозначение**, і в списку вибираємо \pm . У вікні *Форматирование* налаштуємо розмір і тип шрифту.

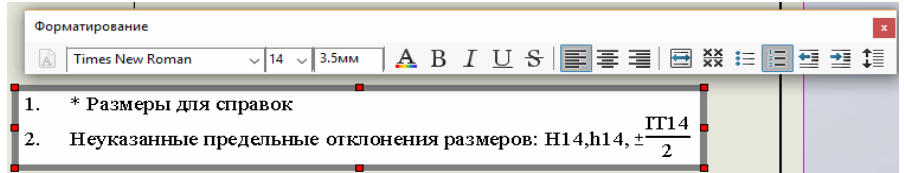
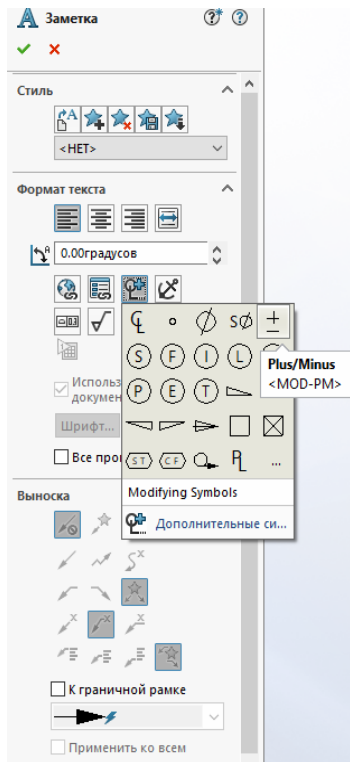




Рис. 3.95

Редагуємо основний напис. Натискаємо на рамці ПКМ і в меню вибираємо  *Редактировать основную надпись*. Після того як редагування закінчено, натискаємо вихід . Остаточний вигляд креслення представлений на рис. 3.96.

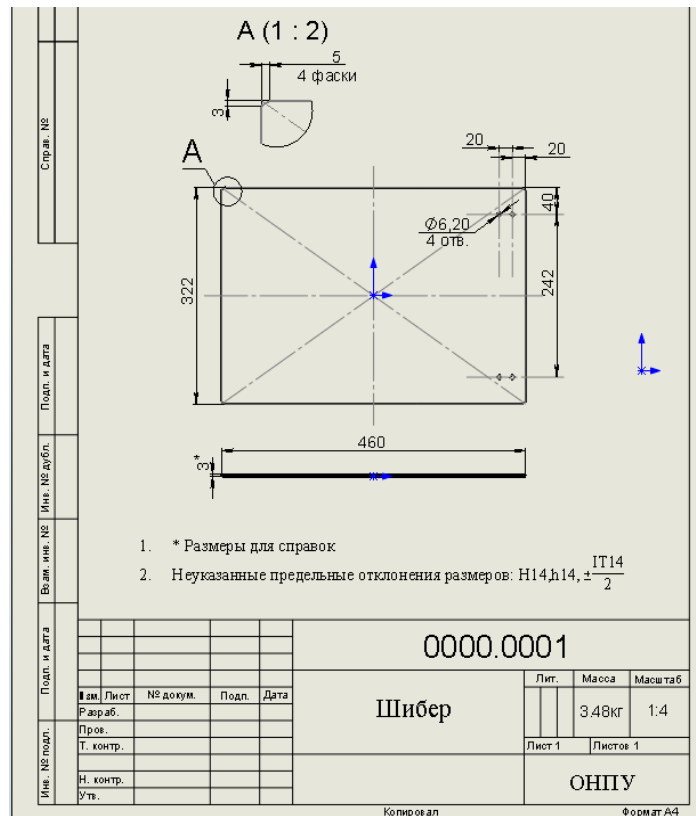


Рис. 3.96

3.9. Створення збірки

Для створення збірки рекомендується самостійно створити креслення рейки (рис. 3.97).

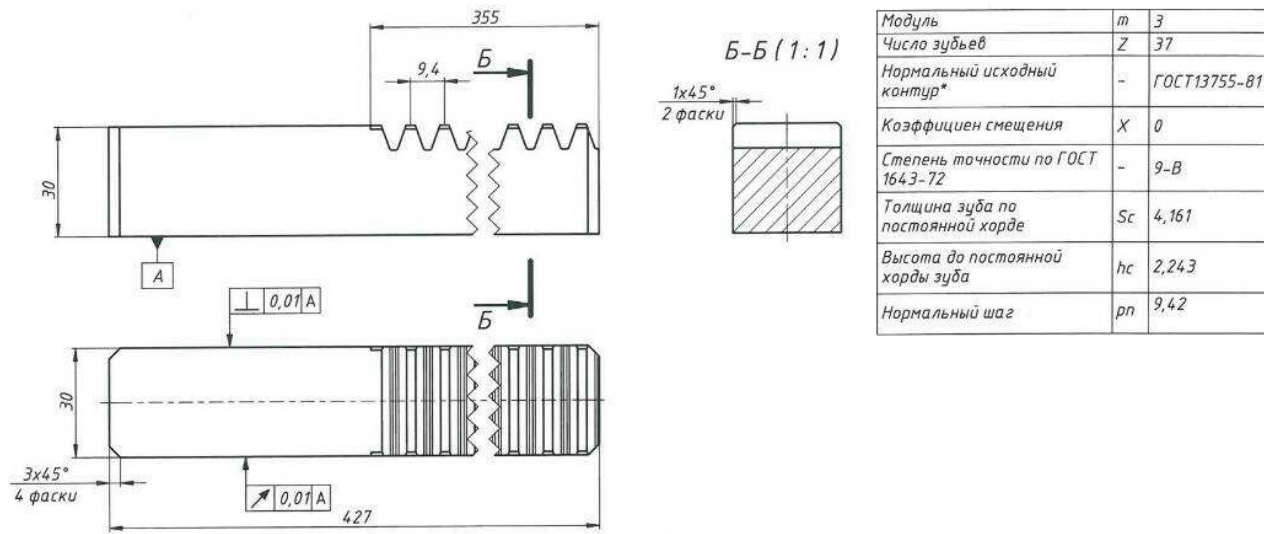


Рис. 3.97

Остаточний вигляд деталі представлений на рис. 3.98. Збережемо деталь під ім'ям **Рейка**.

Так само в новому документі самостійно створюємо деталь, параметри якої представлені на рис. 3.99. Зберігаємо деталь під ім'ям **Планка**.

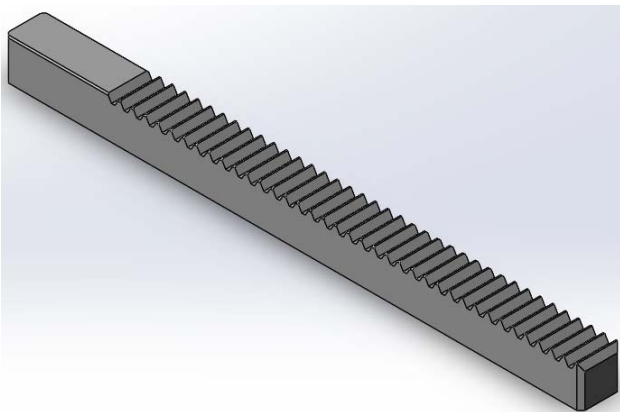


Рис. 3.98

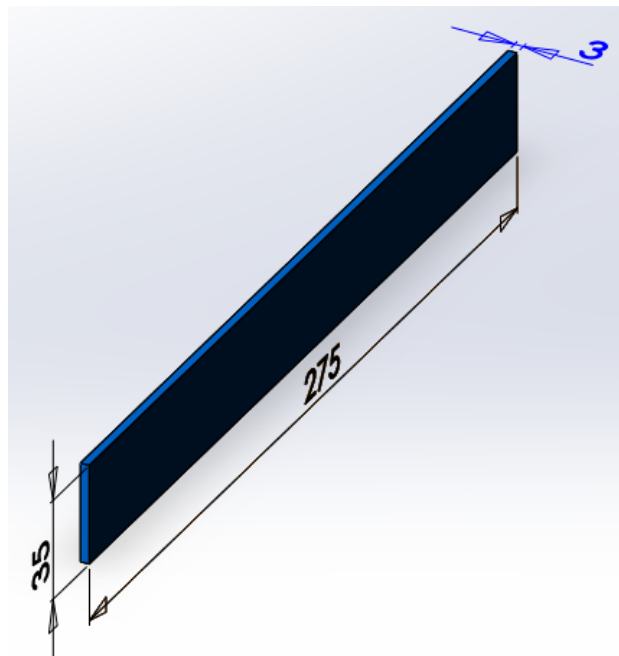



Рис. 3.99

Приступаємо до створення збірки. Відкриваємо новий документ: **Файл** → **Новый...** У вікні *Новый документ SolidWorks* вибираємо **Сборка. ОК**.

Закриваємо вікно, яке автоматично з'явилося зліва. Вставимо заздалегідь побудовані деталі в збірку: вкладка **Сборка** > **Вставить компоненты** . У вікні *Вставить компоненты* натискаємо *Обзор* і у папці вибираємо деталь *Шибер. SLDPRT. Открыть*. Клацаємо ЛКМ в будь-якому місці графічної області. Аналогічно вставимо деталі *Рейка. SLDPRT* і *Планка. SLDPRT*. Розмістимо їх на вільному місці в графічній області (рис. 3.100).

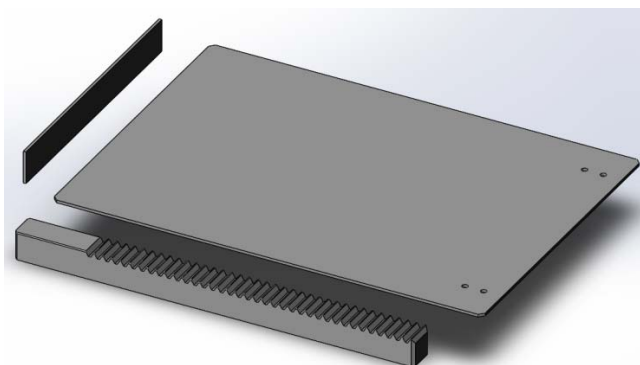






Рис. 3.100

Щоб змінити розташування деталей: вкладка **Сборка** > **Переместить компонент**  > **Вращать компоненты** . Задаємо сполучення між деталями шибер і рейка: вкладка **Сборка** > **Условия сопряжения** . Вибираємо верхню поверхню деталі шибер і нижню поверхню рейки. Програма автоматично пропонує взаємозв'язок *Совпадение*  (рис. 3.101).

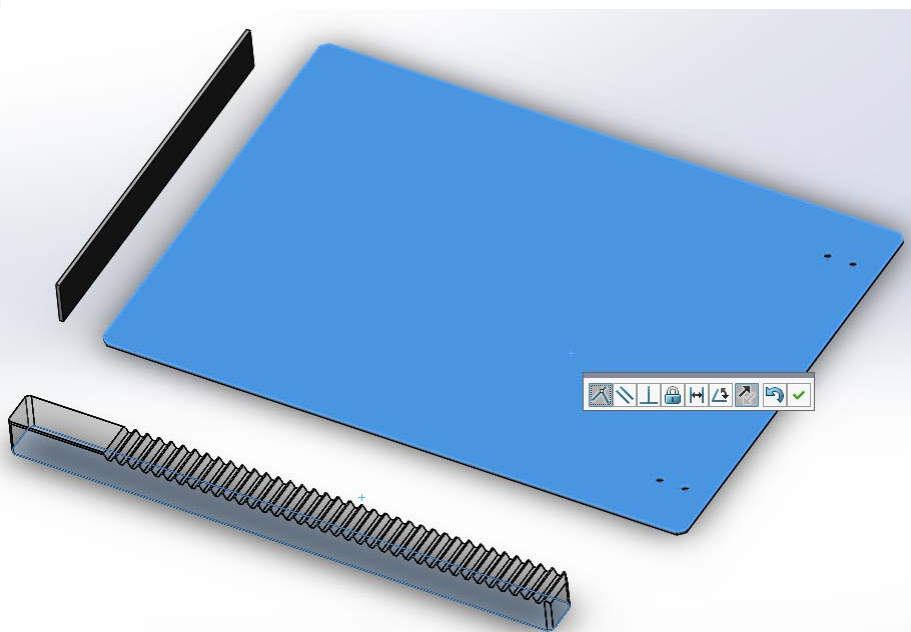
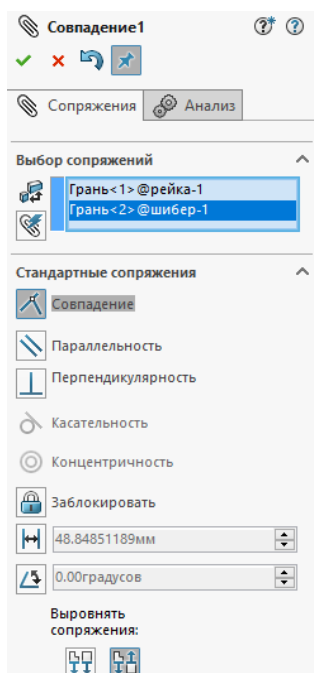


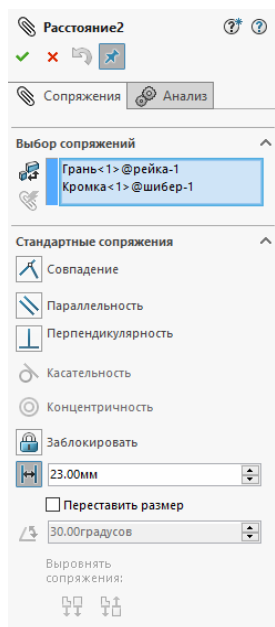
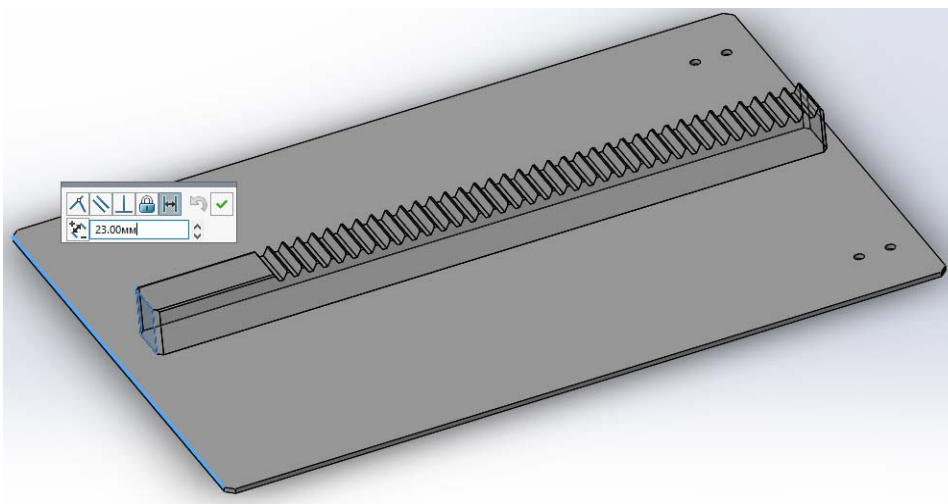


Рис. 3.101

Захопимо курсором рейку і перемістимо її ближче до середини шибера. Задаємо ще одне сполучення: вкладка **Сборка** > **Условия сопряжения**. Виберемо ліву грань рейки і кромку шибера, виділені синім кольором на рис. 3.102, б. У спливаючому вікні, або в вікні зліва задаємо відстань  між обраними об'єктами яка дорівнює 23мм (рис.3.102, а). Натискаємо .





а



б

Рис. 3.102

Для завдання наступного сполучення, створимо вісь. Вкладка **Сборка** >  **Справочная геометрия** >  **Ось**. Виділяємо середні точки кромок шибера (рис. 3.103).

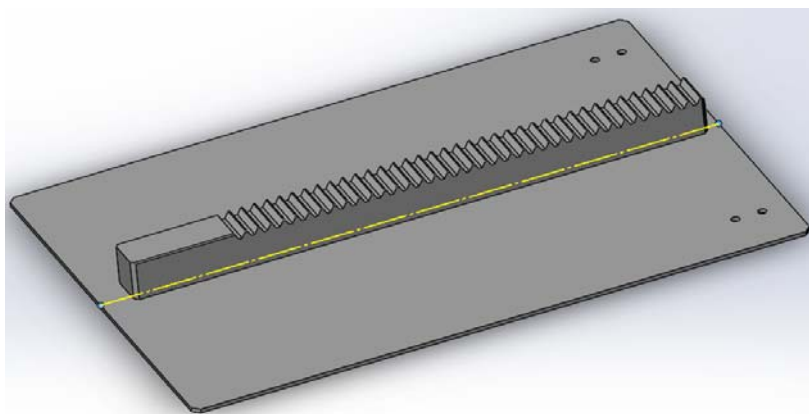
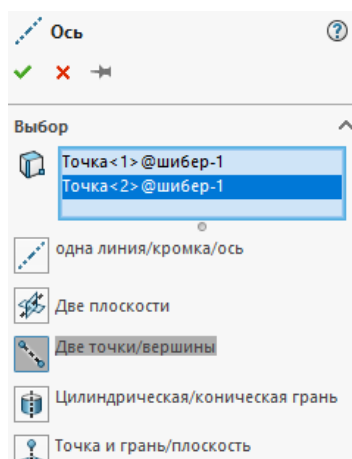




Рис.3.103

Далі **Сборка** > **Условия сопряжения** . Вибираємо *Ось1* і середню точку в рейці, як показано на рис. 3.104. .

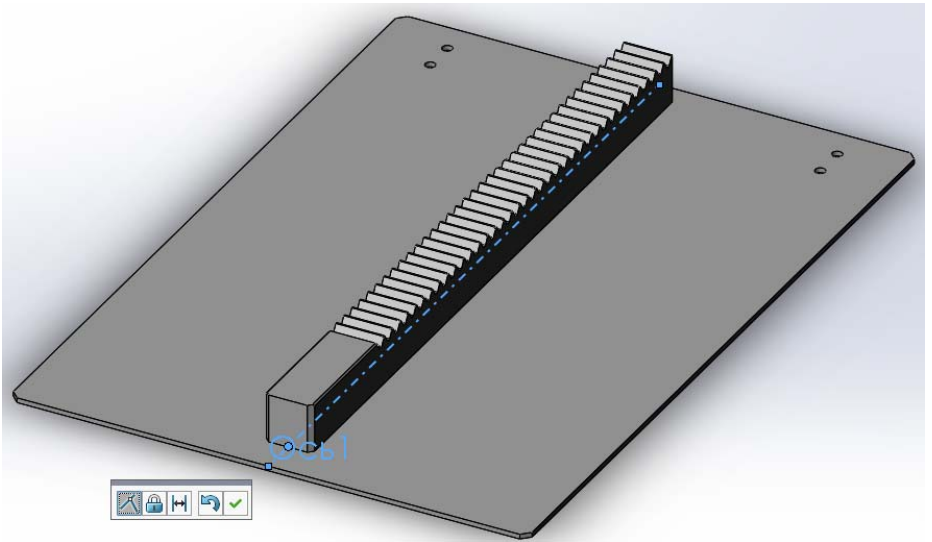
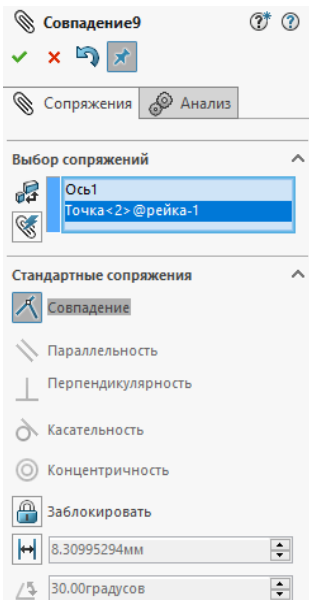


Рис. 3.104

Наступний крок — задаємо сполучення між планкою і вже отриманою в попередньому пункті збіркою. На початку захопимо курсором планку і перемістимо її ближче до рейки. Ця дія необхідна для коректного завдання сполучення.

Сборка > Условия сопряжения . Виділяємо ліву грань рейки і кромку шибера, як показано на рис. 3.105. У спливаючому вікні, або в вікні зліва задаємо відстань між обраними об'єктами — 10мм.

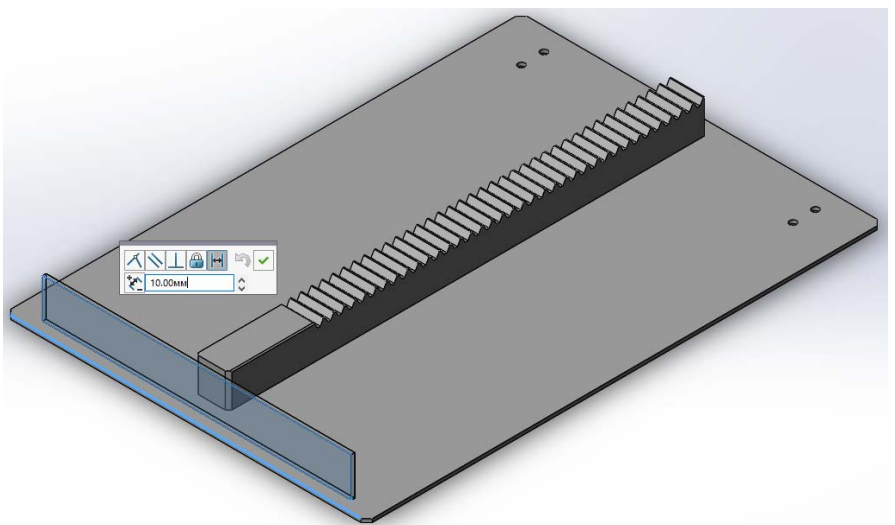
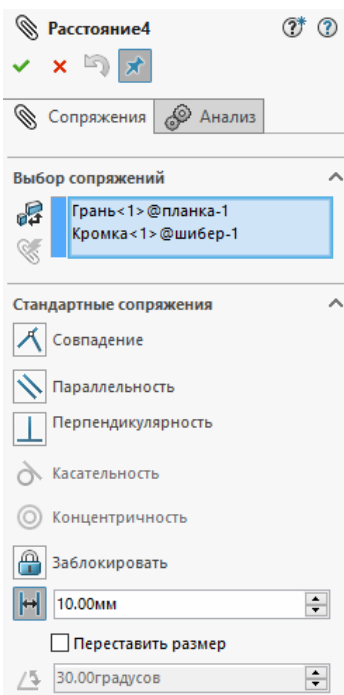


Рис. 3.105

Далі аналогічно створюємо сполучення *Совпадение* між верхньою гранню шибера і нижньою гранню планки, рис. 3.106.

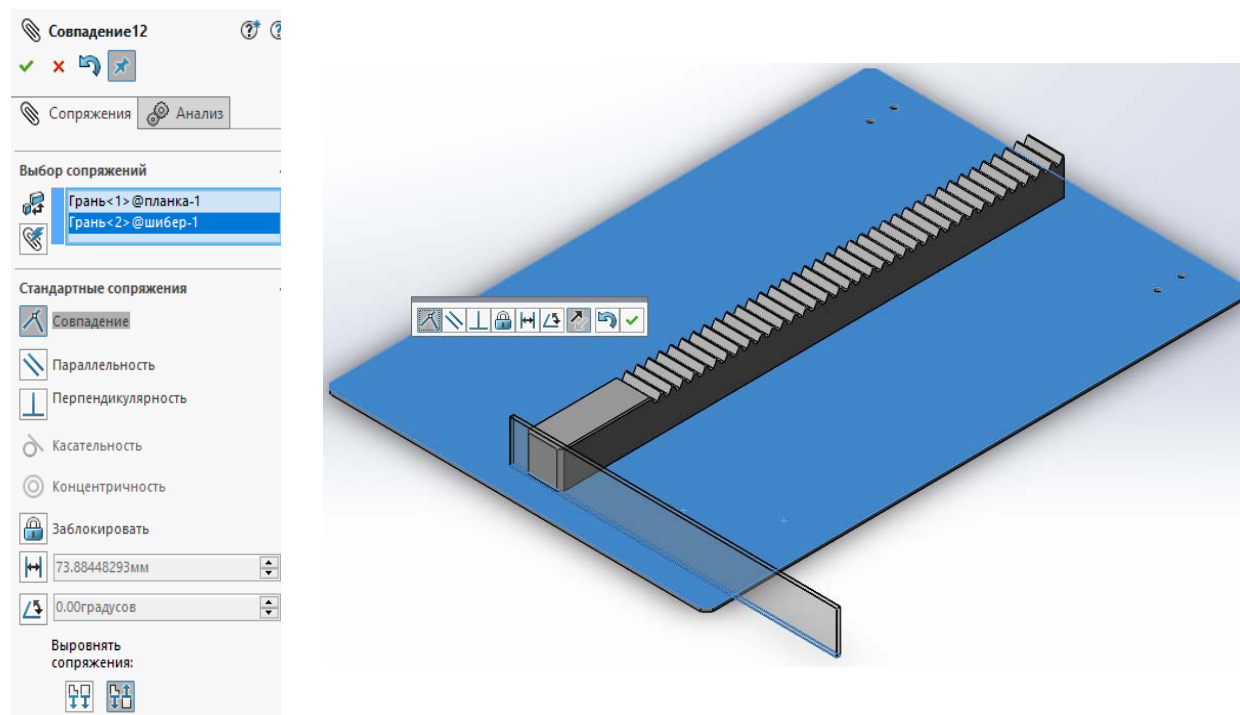


Рис. 3.106

Також створюємо сполучення *Совпадение* між *Ось1* і середньою точкою планки (рис. 3.107).

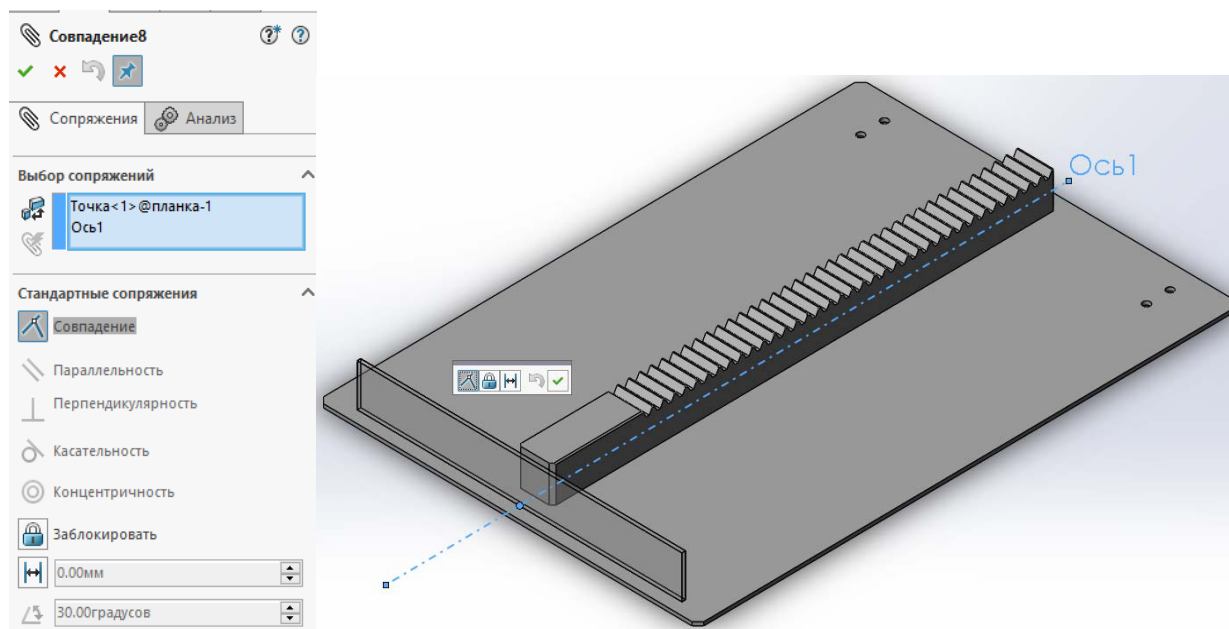


Рис. 3.107

Ця збірка готова. Однак необхідно відзначити що, якщо в збірці використовуються будь-які стандартні елементи (болти, гвинти, підшипники і так далі), користувач може скористатися повністю інтегрованою в

SolidWorks бібліотекою проектування Toolbox. Необхідно вибрати стандарт і тип деталі та перетягнути компонент Toolbox в збірку. Компоненти Toolbox можна розмістити в центральному розташуванні мережі і налаштувати Toolbox так, щоб були включені тільки ті деталі, які відповідають стандартам підприємства. Також можна управляти доступом до бібліотеки Toolbox для запобігання зміни компонентів Toolbox користувачами, а також проводити безліч інших операцій.

Для роботи з додатком його необхідно активувати. Меню **Инструменты > Добавления**. Ставимо галочки праворуч і ліворуч біля *SolidWorks Simulation, SolidWorks Toolbox Library* і *SolidWorks Toolbox Utilities* (рис. 3.108). Після чого з бібліотеки проектування (рис. 3.109) перетягуємо необхідні елементи в графічну область.

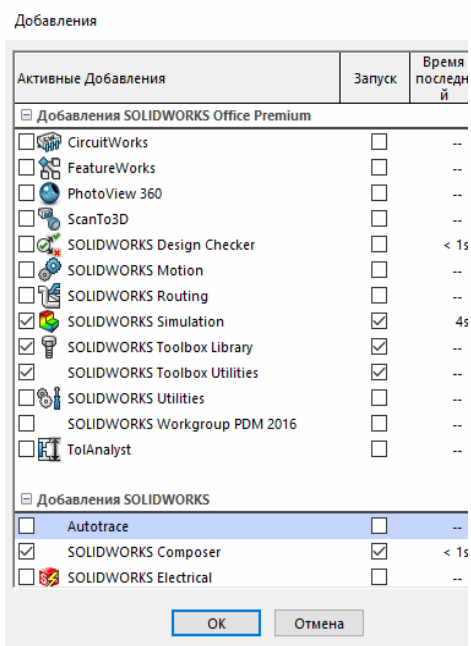


Рис. 3.108

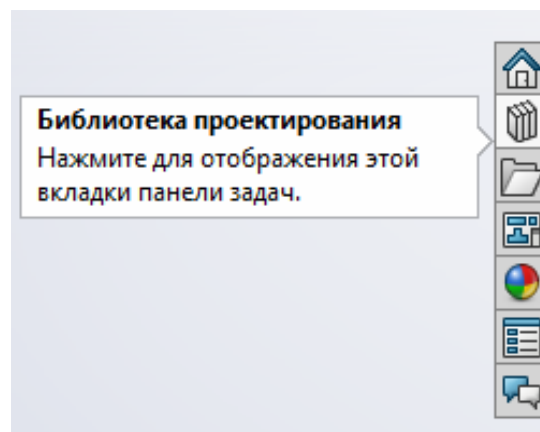


Рис. 3.109

РОЗДІЛ 4
РОЗРАХУНКИ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ
SOLIDWORKS SIMULATION

4.1. Розрахунок статично невизначеної балки прямокутного перерізу

Дано: статично невизначена балка прямокутного перерізу (розміри перерізу — висота $h = 0,2\text{м}$, ширина $b = 0,1\text{м}$; розміри прольотів — $a = 1\text{м}$; $b = 2\text{м}$; матеріал — сталь з модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11}\text{Па}$; навантаження — розподілене навантаження $q = 20\text{кН/м}$, крутний момент $M = 40\text{кН}\cdot\text{м}$, сила $F = 30\text{кН}$).

Завдання: побудувати епюри поперечних сил і згинальних моментів; обчислити величини опорних реакцій і реактивного моменту в закладенні, максимальні прогини і кути повороту перерізів балки та порівняти з теоретичними (рис. 4.1).

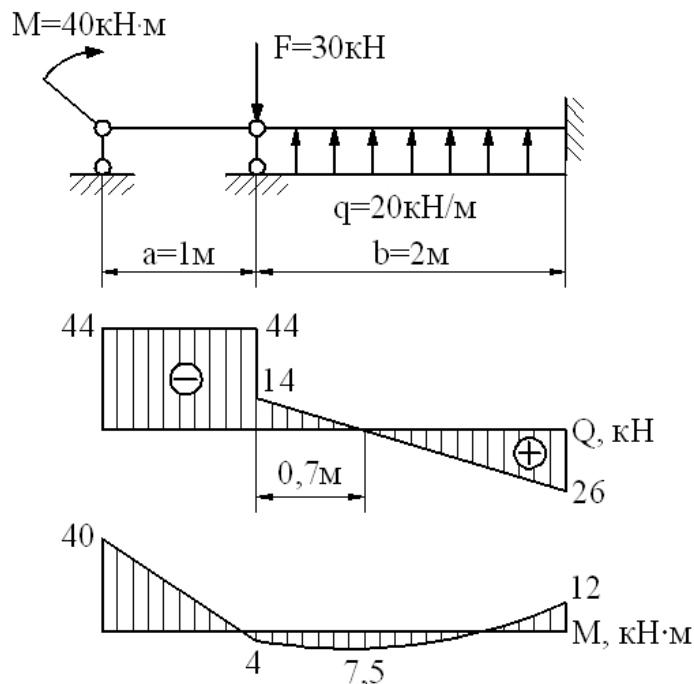




Рис. 4.1

Порядок виконання завдання:

1. Створюємо модель балки.

Відкриваємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

Відкриваємо ескіз: на панелі інструментів вибираємо вкладку **Эскиз** і натискаємо . Далі курсором миші в графічній області вибираємо площину *Right (Справа)*, на якій необхідно створити ескіз (рис. 4.2). Вкладка **Эскиз** >  **Прямоугольник из центра**. Початок координат має перебувати в геометричному центрі ескізу балки, як зображено на рисунку.

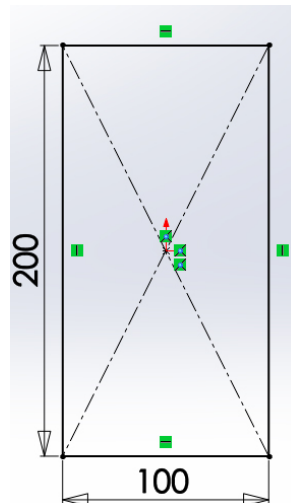





Рис. 4.2

Витягуємо ескіз балки: вкладка **Элементы** >  **Вытянутая бобышка/основание**. У вікні *Бобышка–Вытянуть* в випадаючому меню  *Граничные условия* вибираємо *На заданное расстояние*. Встановлюємо *Глубину* 1000 мм. Натискаємо  (рис. 4.3).

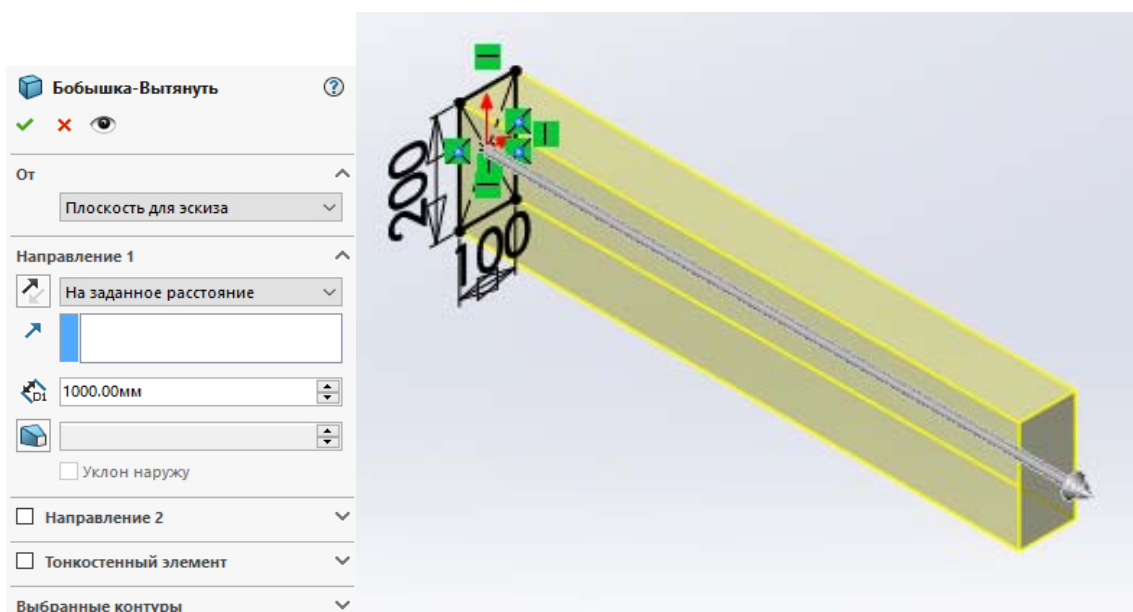




Рис. 4.3

Створюємо другий проліт балки наступним образом. Виділяємо торцеву грань деталі (рис. 4.4). На вкладці **Эскиз** > **Эскиз**  > **Преобразование объектов** . По контуру перерізу буде автоматично побудований прямокутник з прив'язкою вершин до кутів площині.

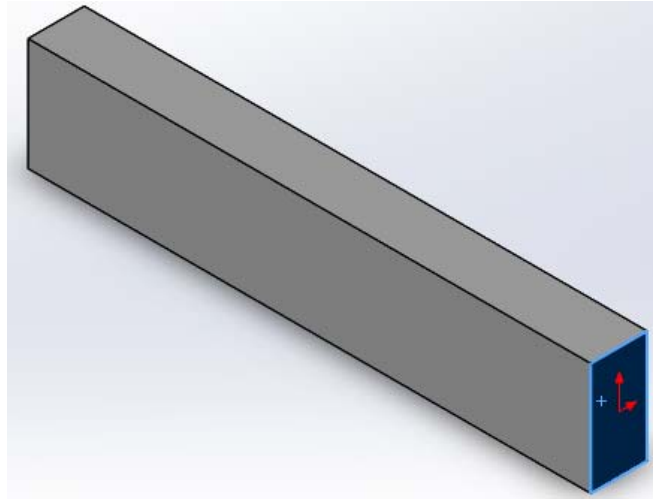




Рис. 4.4

Не виходячи з ескізу, натискаємо  **Вытянутая бобышка/основание**. В поле *Глубина* вводимо значення 2000 мм (довжина другого прольоту). У рядку *Объединить результаты* знімаємо позначку  (рис. 4.5).

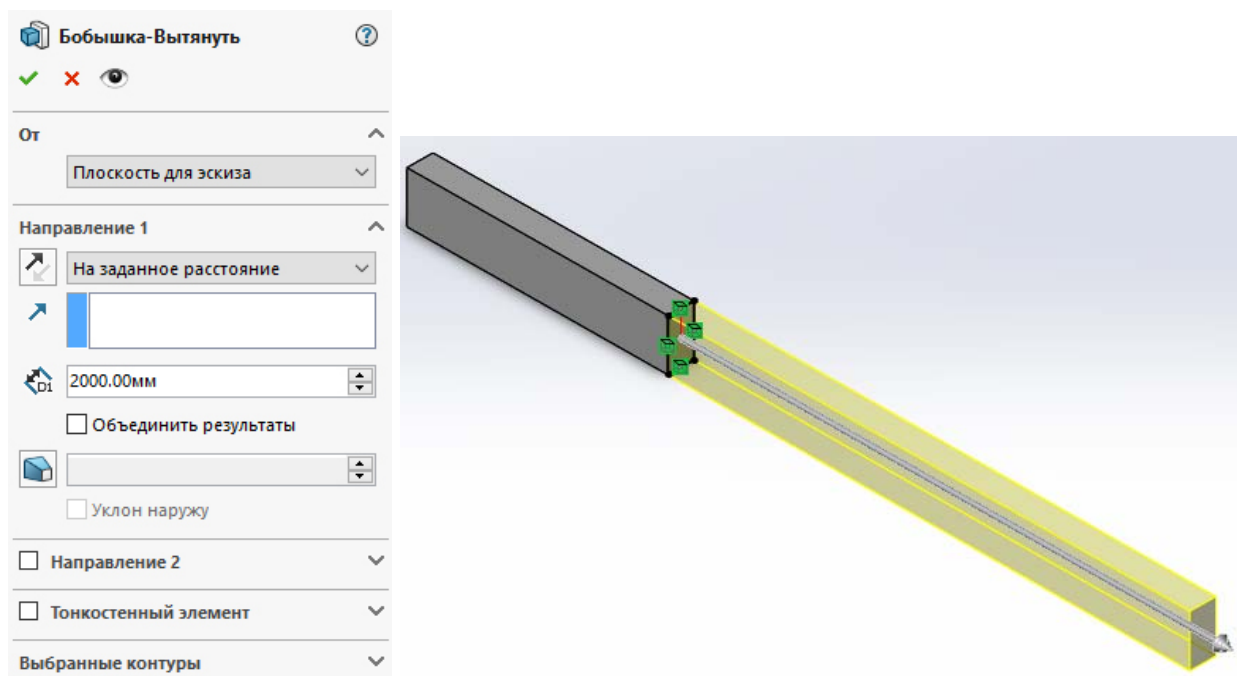


Рис. 4.5

Результат виконання команди — на рис. 4.6. Зберігаємо модель під ім'ям Балка.

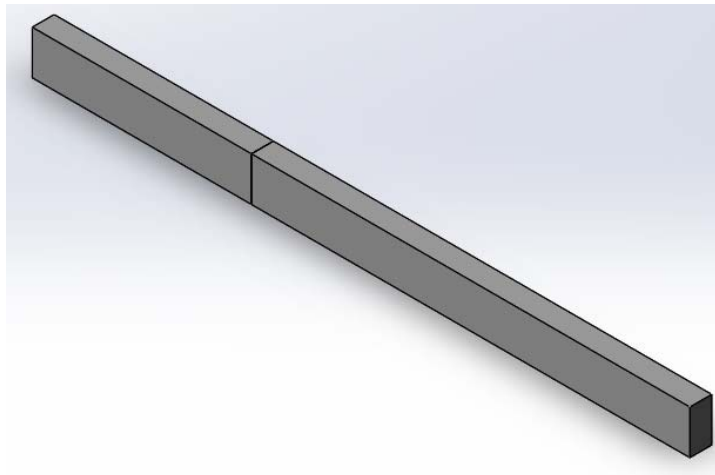



Рис. 4.6

2. Розрахунок моделі. Відзначимо, що при підготовці до розрахунку балок в SolidWorks слід заздалегідь створювати деталь розділеної в тих місцях, в яких будуть мати місце опори або буде прикладено навантаження.

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks > SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'являється нова вкладка **Simulation**.

Вкладка **Simulation > Консультант Исследования > Новое исследование** (рис. 4.7). У вікні *Study (Исследование)* вибираємо тип дослідження — **Static** (статическое) (рис. 4.8). Натискаємо .

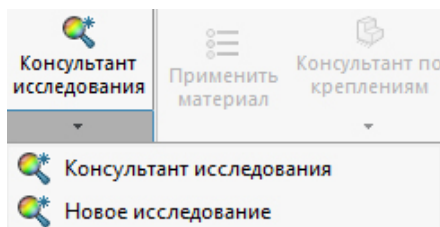


Рис. 4.7

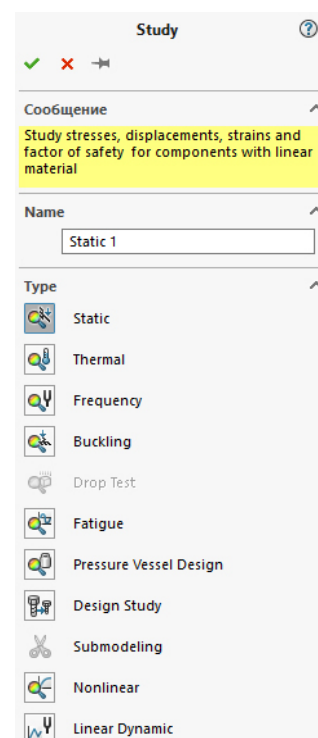


Рис. 4.8

Під **Деревом конструювання** з'являється **Дерево дослідження**. Для русифікованої версії пункти будуть відображатися російською мовою (рис. 4.9).

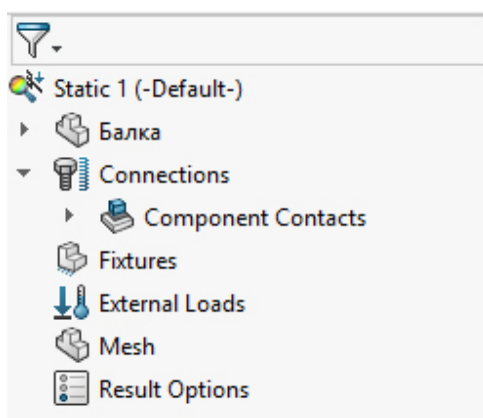


Рис. 4.9

Якщо розгорнути закладку *Балка* (рис. 4.10), то видно, що обидві частини балки поки визначаються програмою, як тверді тіла. Щоб змінити це, виділимо їх в **Дереві дослідження** ЛКМ, утримуючи клавішу **Shift**. Далі натискаємо по виділеним компонентів ПКМ і в контекстному меню виберемо пункт **Treat selected bodies as beams** (рассматривать все тела, как балки).

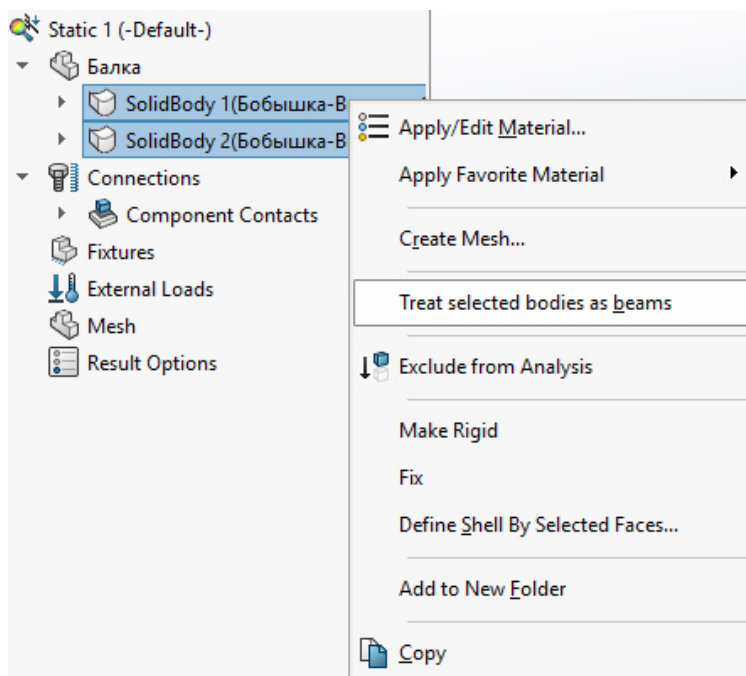


Рис. 4.10

Вид дерева зміниться, нове відображення показано на рис. 4.11.

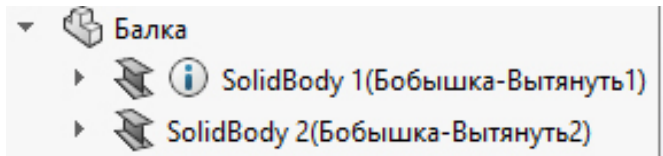


Рис. 4.11

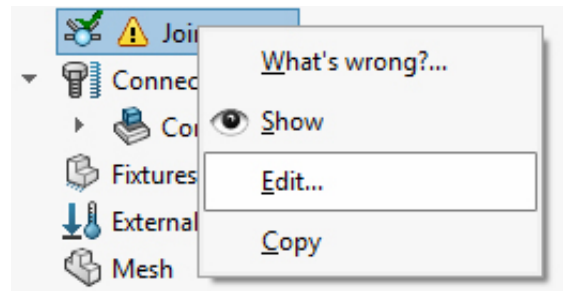


Рис. 4.12

У дереві з'явився новий рядок — **Joint group** (Група соединений), на початку якого горить значок ⚠. Це означає, що з'єднання не призначені/не визначені (рис. 4.12). ПКМ натискаємо на рядку **Група соединений** і вибираємо **Edit** (Редактировать...)

У вікні *Edit joints (Редактировать соединения)* натискаємо кнопку **Calculate** (Вычислить) (рис. 4.13). В полі результати з'явиться список активних з'єднань, на кресленні вони будуть відзначені кульками — вузлами. При розрахунку балкових систем в даному пакеті тільки в місцях вищеназаних з'єднань можна вказувати граничні умови ✅.

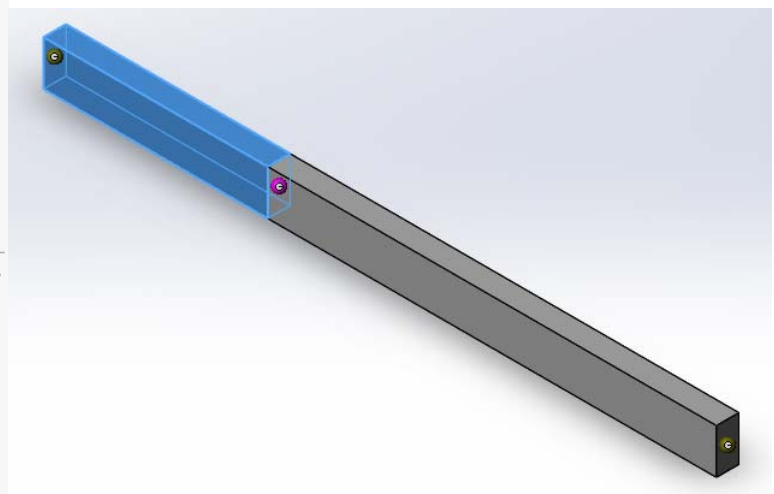
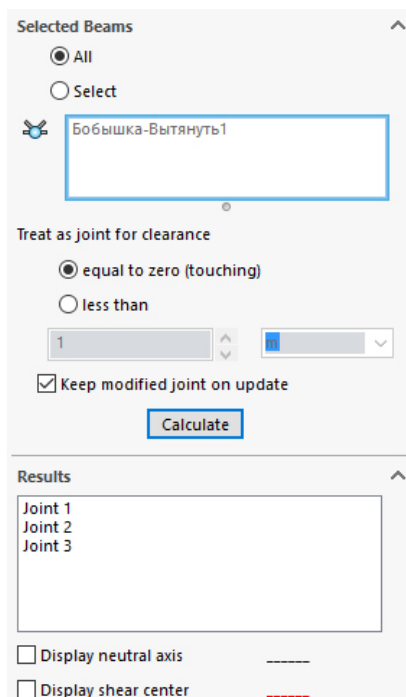


Рис. 4.13

Наступний крок — призначення матеріалу. Для присвоєння матеріалу елементів балки в **Дереве исследования** натискаємо ПКМ на закладці **Балка** і вибираємо **Применить материал ко всем телам** (рис. 4.14).

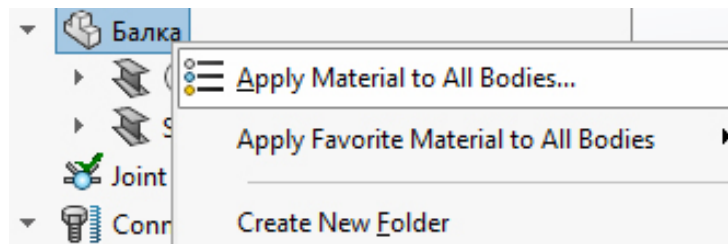


Рис. 4.14

Відкривається вікно *Материал*, в якому вибираємо **solidworks materials** (рис. 4.15). Далі з бібліотеки матеріалів вибираємо **сталь AISI 1010 Сталь, горячекатаная полоса** (модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, що відповідає умові завдання). **Применить > Закреть.**

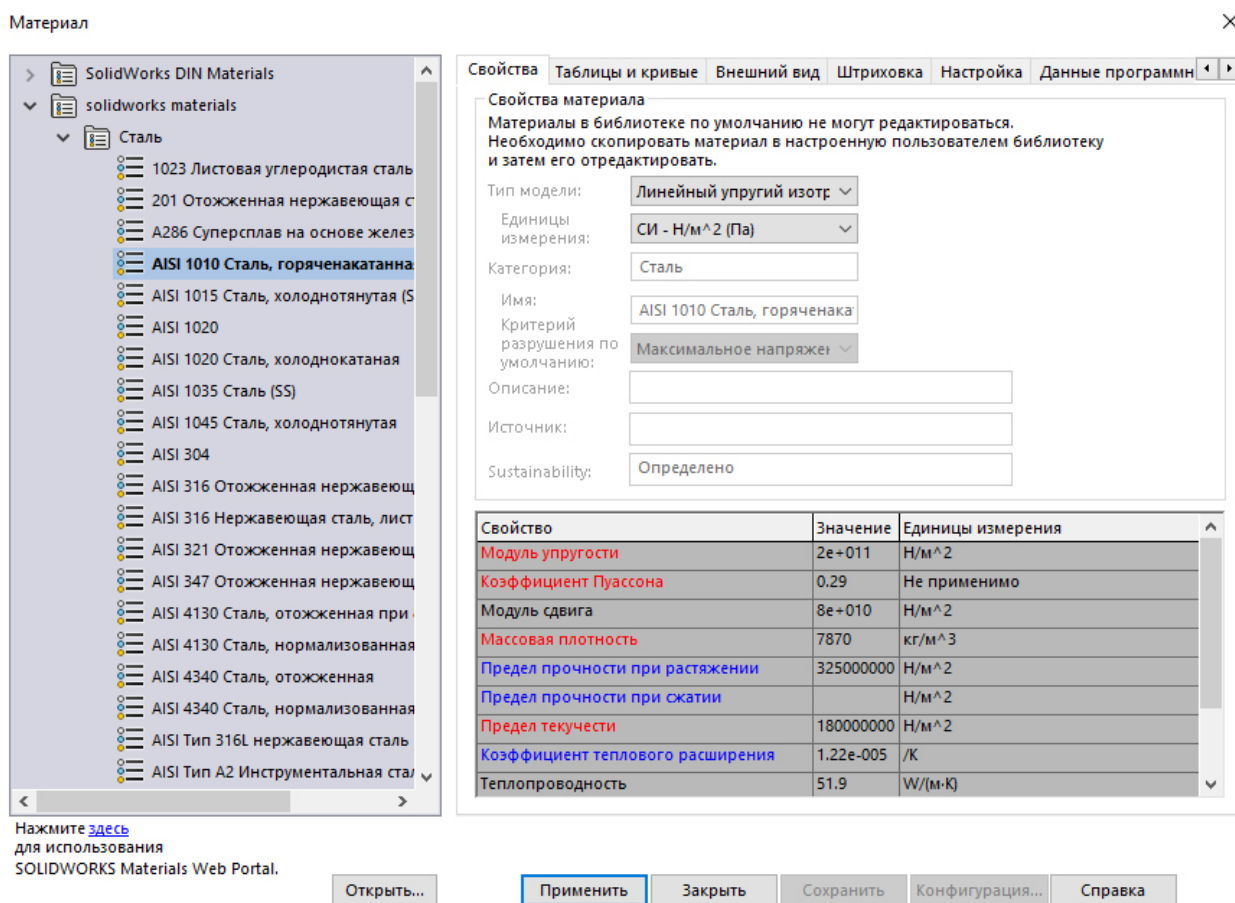



Рис. 4.15

Наступний крок — завдання граничних умов. У Дереве исследования ПКМ натискаємо на пункті **Fixtures** (Крепления) і вибираємо **Fixed Geometry** (Зафіксованная геометрия) (рис. 4.16).

У вікні *Fixture (Крепление)* в закладці *Standard (Стандартный)* вибираємо **Fixed Geometry** (Зафіксованная геометрия). Дане

закріплення еквівалентно жорсткому закладанню. Далі в графічній області вибираємо крайнє праве з'єднання  (рис. 4.17).

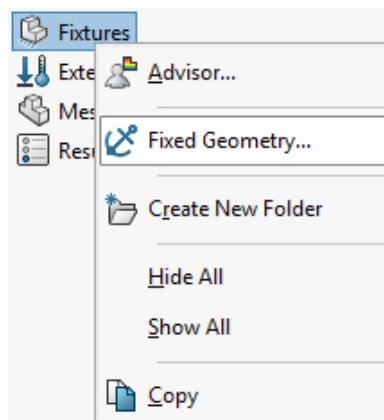


Рис. 4.16

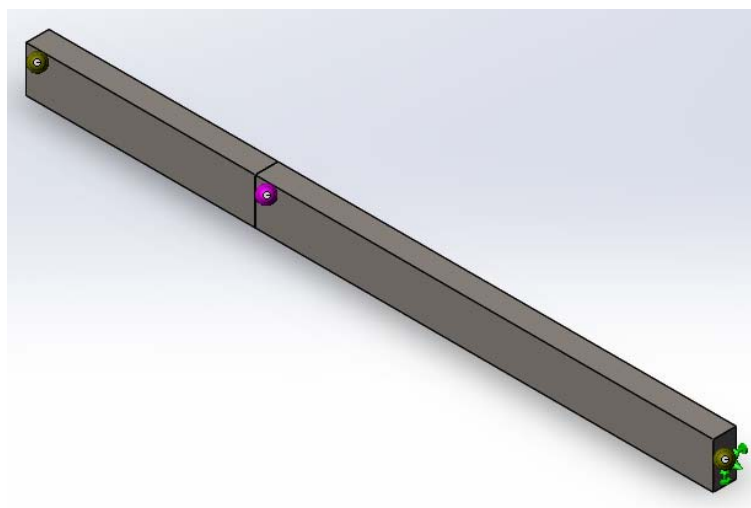
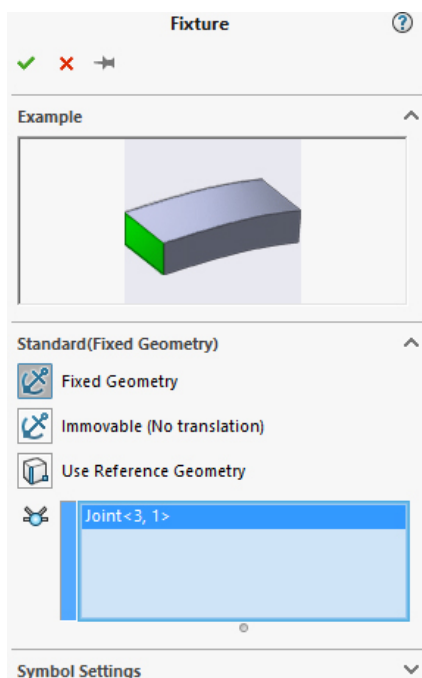








Рис. 4.17

Накладені зв'язки в з'єднанні позначені стрілкою , що означає заборону переміщення в даному напрямку, а диск на початку стрілки означає заборону обертання щодо відповідної осі, паралельної стрілці.

Призначимо шарнірно-рухливі опори. Для цього скористаємося допоміжною геометрією. У **Дерево дослідження** ПКМ натискаємо на пункті *Fixture (Креплення)* і вибираємо  **Fixed Geometry** (Зафіксована геометрія). У вікні *Fixture (Крепление)* (рис. 4.18) вибираємо пункт  *Use Reference Geometry (Использовать справочную геометрию)*. У графічній області вибираємо потрібні з'єднання. Активуємо строку  *Грань, Кромка*,

Плоскость, Оси для направления, і вибираємо плоскість *Top* (Сверху). Далі, заборонимо переміщення обраних з'єднань перпендикулярно цій площині. Для цього в закладці *Translation* (Смещение) вибираємо  *Normal to plane* (Перпендикулярно плоскості) .

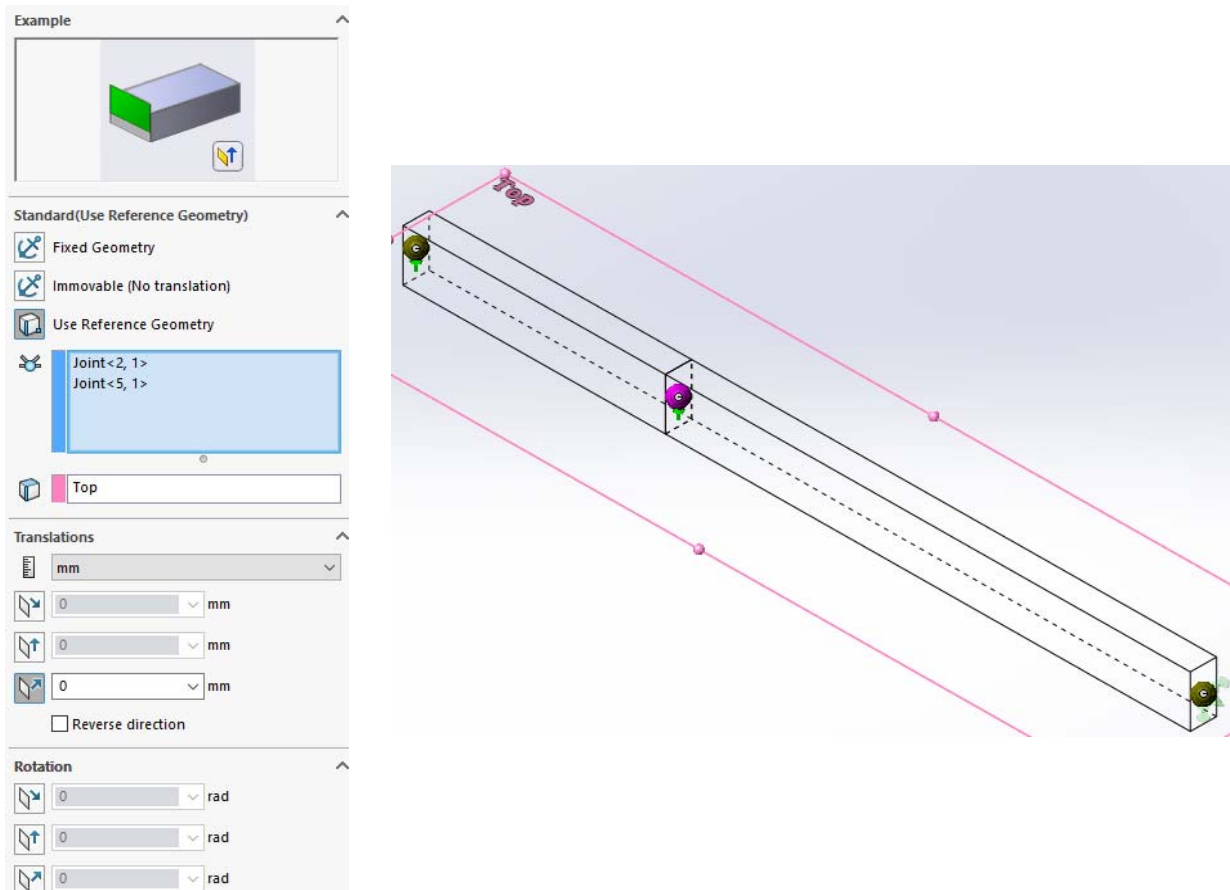



Рис. 4.18

Щоб переглянути прикладені закріплення, обираємо *Стиль отображения* — *невидимые линии отображаются*  (рис. 4.19).

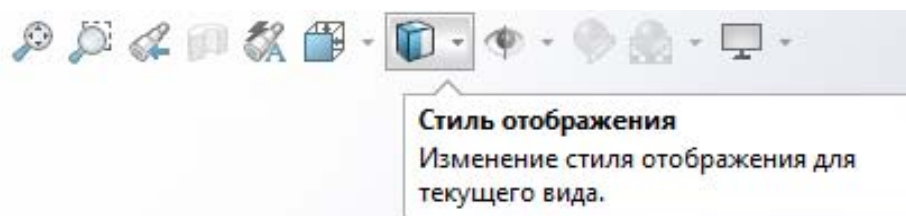


Рис. 4.19

Наступний крок — прикладення навантажень. Спочатку додаємо зосереджене навантаження. Для цього ПКМ натискаємо на пункті **External loads** (Внешние нагрузки) і вибираємо **Force** (Сила) (рис. 4.20).

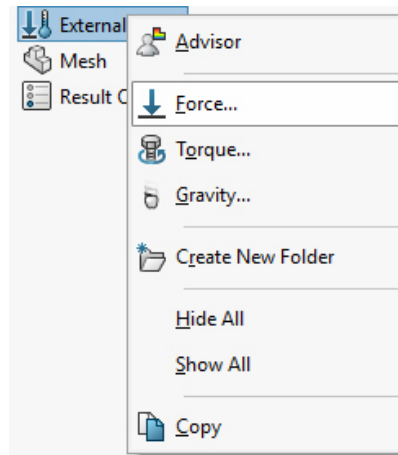


Рис. 4.20

Відкривається вікно *Force/Torque* (Сила/вращающий момент), в якому виконуємо наступні дії (рис. 4.21):

- в закладці *Selection* (Выбор) обираємо *Joints* (Соединения) і в графічній області вибираємо середній вузол (на схемі вузол, до якого прикладене зосереджене навантаження);

- в якості *Грань, Кромка, Плоскость, Оси* для напрямлення вибираємо площину *Top* (Сверху);

- в закладці *Force* (Сила) вибираємо *Normal to plane* (Перпендикулярно плоскости), вводимо значення зосередженої сили — 30000Н, відзначаємо пункт *Реверс напрямку* (рис. 4.21). Натискаємо .

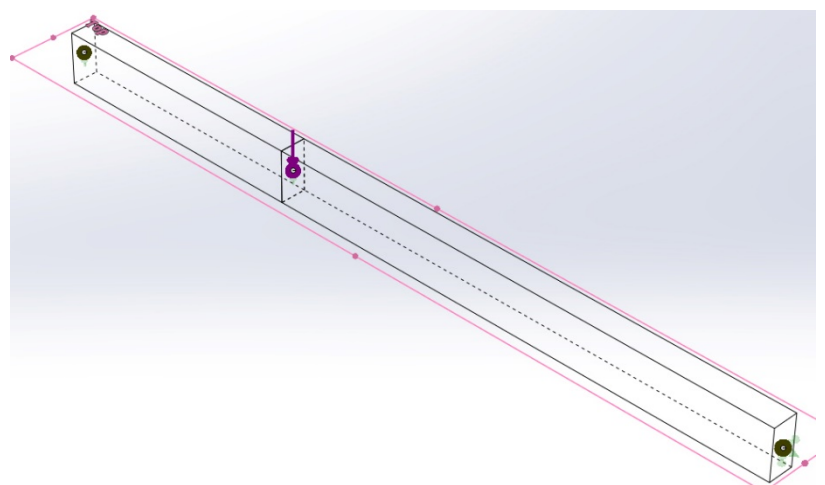
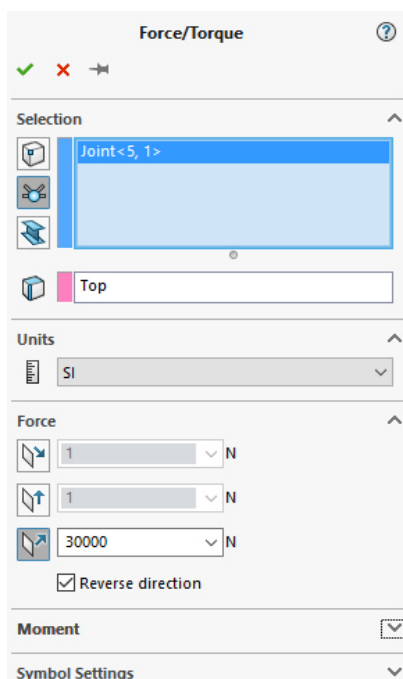






Рис. 4.21

Далі додаємо зосереджений момент. Для цього ПКМ натискаємо на пункті **External loads** (Внешние нагрузки) і вибираємо **Force** (Сила).

Відкривається вікно *Force/Torque* (Сила/вращающий момент), в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Selection* (Выбор) вибираємо  *Joints* (Соединения) і в графічній області вибираємо крайнє ліве з'єднання (до якого прикладено зосереджений момент);

- в якості  *Грань, Кромка, Плоскость, Оси* для направлення вибираємо площинку *Front* (Спереди);

- в полі *Moment* (Момент) вибираємо  *Normal to plane* (Перпендикулярно плоскости), вводим значення зосередженого моменту — 40000 Н. Після цього в графічній області з'являється позначення зосередженого моменту у вигляді стрілки з капелюшком. Тут існує одне правило: якщо ми дивимось з боку вістря стрілки, момент буде спрямований проти годинникової стрілки; якщо ми дивимось з боку капелюшки, момент спрямований за годинниковою стрілкою. Тому слід зазначити пункт *Reverse direction* (рис. 4.22). Натискаємо .

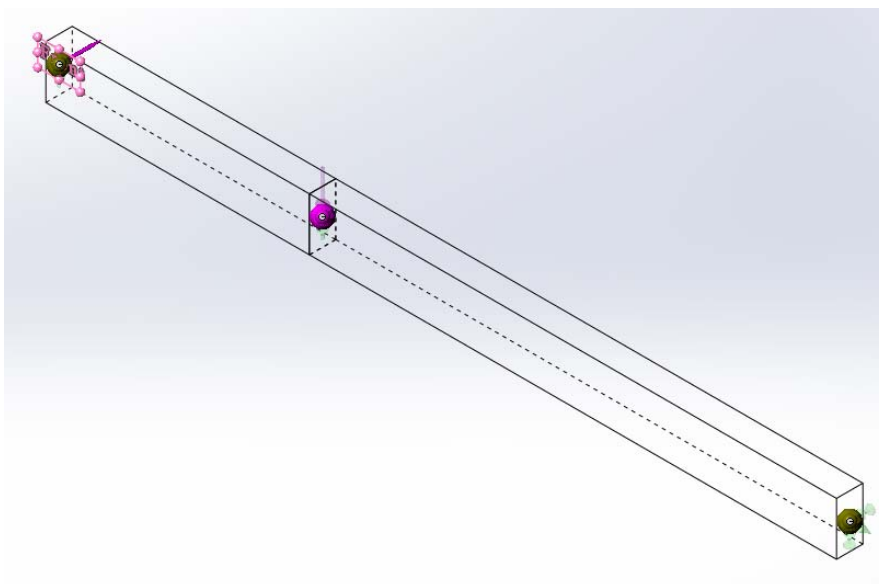
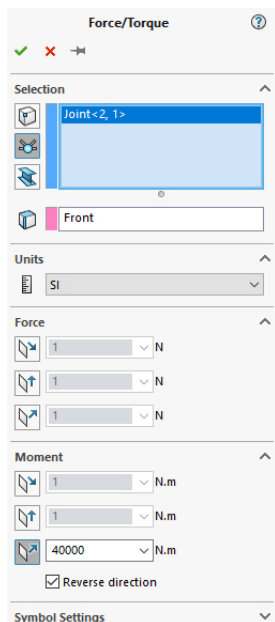




Рис. 4.22



Далі докладемо розподілене навантаження. Аналогічно попередньому пункту натискаємо ПКМ на пункті **External loads** (Внешние нагрузки) і вибираємо **Force** (Сила) (рис. 4.20).

Відкривається вікно *Force/Torque* (Сила/вращающий момент), в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Selection* (Выбор) обираємо  *Beams* (Балки), і в графічній області вибираємо елемент балки, до якого прикладене розподілене навантаження;

- в якості  *Грань, Кромка, Плоскість, Оси* для напрямлення вибираємо площіть *Top* (Сверху);

- в закладці *Units* (Единицы измерения) ставимо галочку *Per unit length* (На единицу длины);

- в полі *Force* (Сила) вибираємо  *Normal to plane* (Перпендикулярно плоскости) і вводим значення розподіленого навантаження — 20000 Н/м (рис. 4.23). Натискаємо .

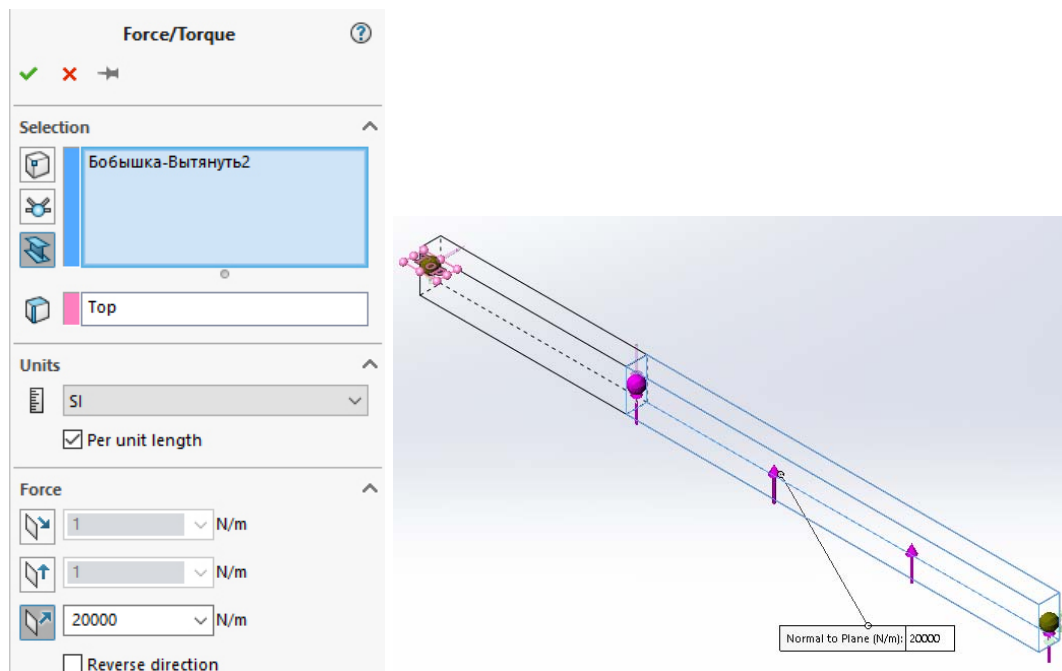


Рис. 4.23

Розрахункова модель повністю готова, наступний етап — розрахунок. Натискаємо ПКМ на назві дослідження *Static1 (-Default-)* чи у русифікованій версії *Исследование1* і далі обираємо *Run* (Выполнить) (рис. 4.24).

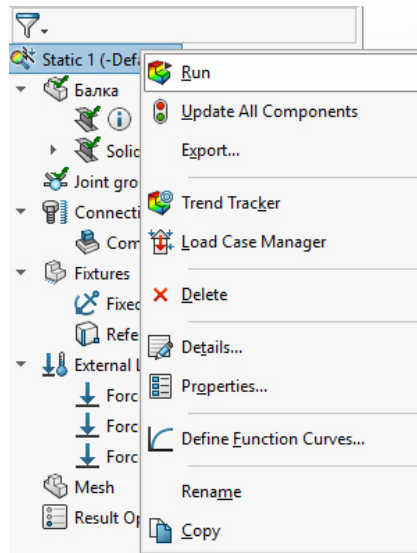


Рис. 4.24

Зазначимо, що ми пропустили створення сітки. Це тому, що для балок процес створення сітки повністю автоматизований і проводиться без будь-яких налаштувань (на відміну від роботи з оболонками і твердими тілами).

Після обчислення програма за замовчуванням виводить дві епюри (для балок) — епюру максимальних напружень (рис. 4.25) і епюру максимальних переміщень.

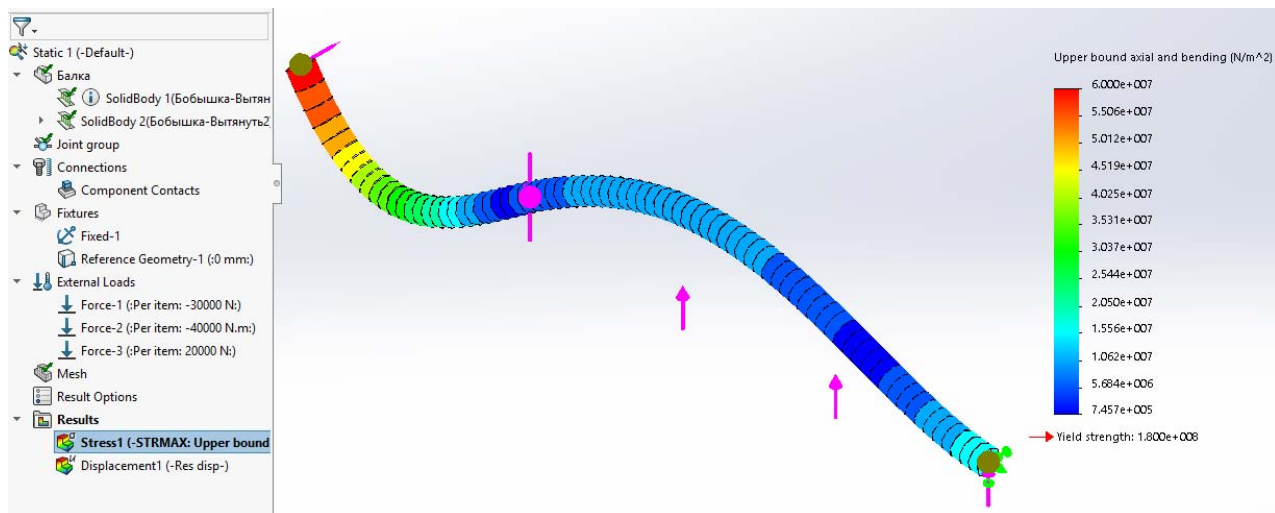


Рис. 4.25

Масштаб деформації системи можна змінювати. Для цього слід натиснути ПКМ по відповідному результату (рис. 4.26) і далі вибрати *Редактировать определение (Edit Definition)*. Відкривається вікно *Stress plot (Эпюра напряжений)*, в якому у вкладці *Деформированная форма* відзначаємо пункт *User defined (Настроенный пользователем)*(рис. 4.27).

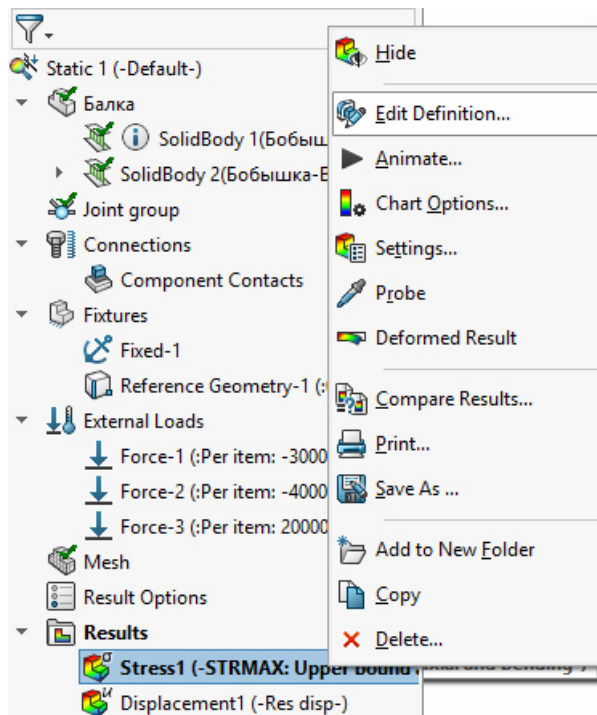


Рис. 4.26

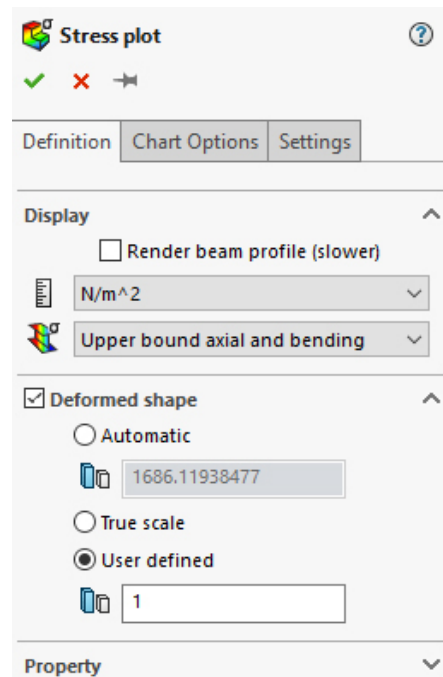


Рис. 4.27

Після цього можна підібрати і ввести свою розмірність масштабу. Щоб побачити доступні до виводу результати, натискаємо ПКМ на пункті *Results* *Результаты* в *Дереве исследования*. Контекстне меню має вигляд (рис. 4.28):

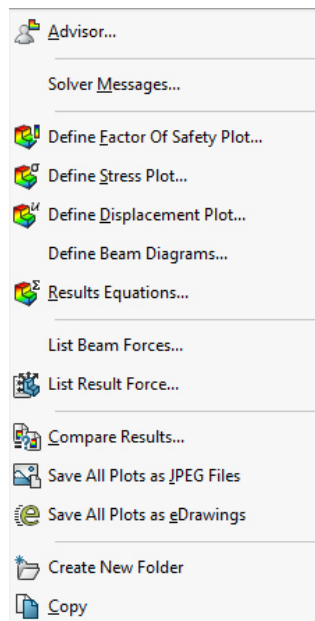


Рис. 4.28

Розглянемо основні пункти даного меню:

- *Advisor* (*Консультант результатов*) — помічник з виведення результатів дослідження;
- *Solver Messages* (*Сообщения решающей программы*) — дозволяє

переглянути кількість елементів сітки, число вузлів, ступенів свободи і час, витрачений машиною на рішення;

– *Define Factor of Safety Plot (Определить эюру проверки запаса прочности)* — створення епюри, що дозволяє визначити зміну запасу міцності в конструкції;

– *Define Stress Plot (Определить эюру линейной деформации)* — створення епюр напружень, а саме: напруження по осі балки; максимальні напруження; напруження щодо напрямків балки; під напрямками балки розуміються умовні осі, проведені паралельно перерізу балки (рис. 4.29).

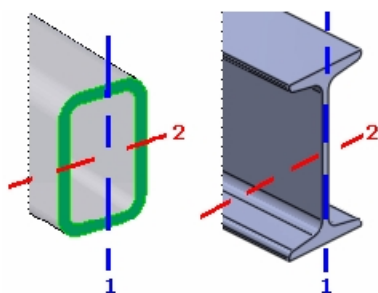


Рис. 4.29

Для поперечного перерізу з прямокутними границями напрямок 1 збігається зі стороною з більш довгою границею. Напрями 1 і 2 — різні для кожної балки і не пов'язані з глобальною системою координат моделі.

– *Define Displacement Plot (Определить эюру перемещения)* — найбільш місткий пункт. Всі виведені за допомогою нього результати представлені на рис. 4.30.

Тут U_X , U_Y , U_Z — переміщення уздовж осей X , Y і Z відповідно. Аналогічно з силою реакції і реактивним моментом, а «обертання в напрямку» фактично означає кут повороту навколо зазначеної осі.

U_X : Перемещение X
U_Y : Перемещение Y
U_Z : Перемещение Z
$URES$: Результирующее перемещение
RFX : Сила реакции X
RFY : Сила реакции Y
RFZ : Сила реакции Z
$RFRES$: Результирующая сила реакции
RX : Вращение в направлении X
RY : Вращение в направлении Y
RZ : Вращение в направлении Z
RMX : Реактивный момент вокруг направления X
RMY : Реактивный момент вокруг направления Y
RMZ : Реактивный момент вокруг направления Z
$RMRES$: Результирующий реактивный момент

Рис. 4.30

Виведемо переміщення по осі Y в метрах, епюри реакцій уздовж осі Y в ньютонках і повороту навколо осі Z у радіанах (рис. 4.31).

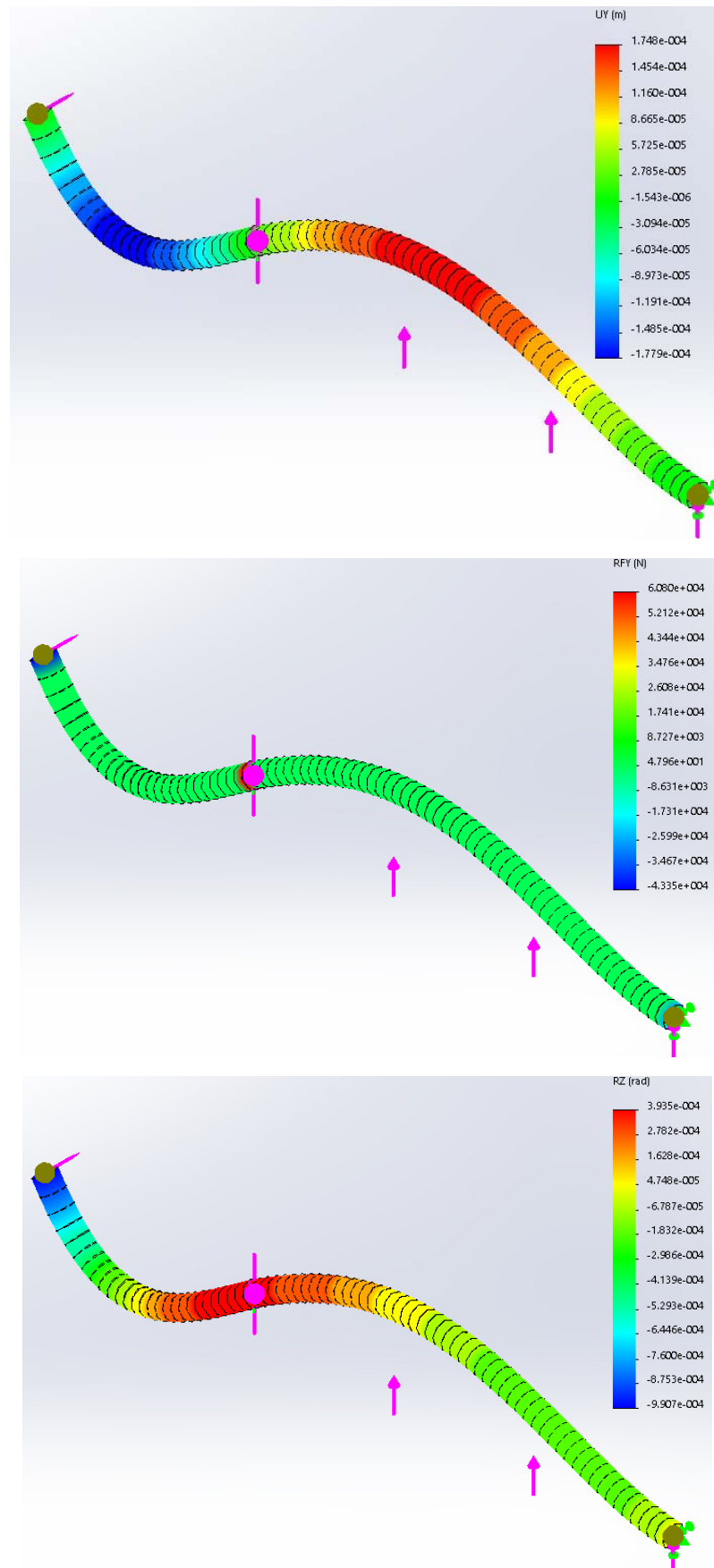


Рис. 4.31

Щоб переглянути реакції в опорах у *Дереве дослідження* натискаємо на епюру реакцій. Після того, як компонент стане активним, натискаємо на ньому ПКМ (рис. 4.32) та вибираємо *Probe* (Зондування). Після цього за допомогою курсору вибираємо вузли, в яких знаходяться опори (рис. 4.33). Аналогічним чином можна «прозондувати» будь-яку епюру.

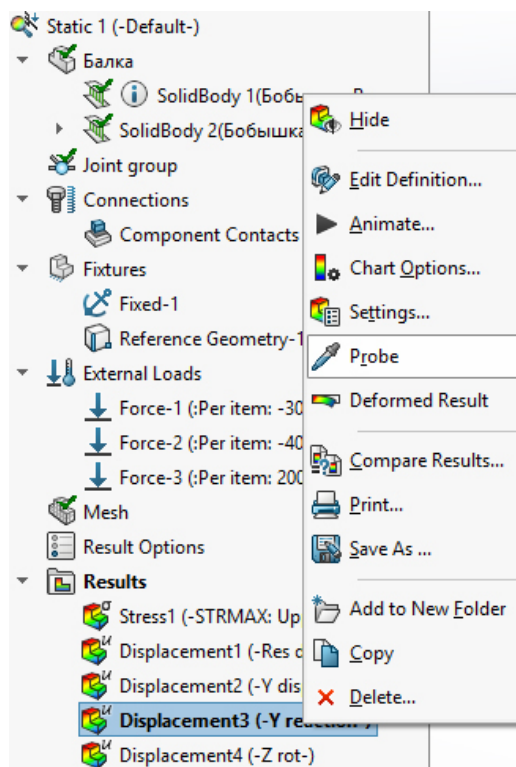


Рис. 4.32

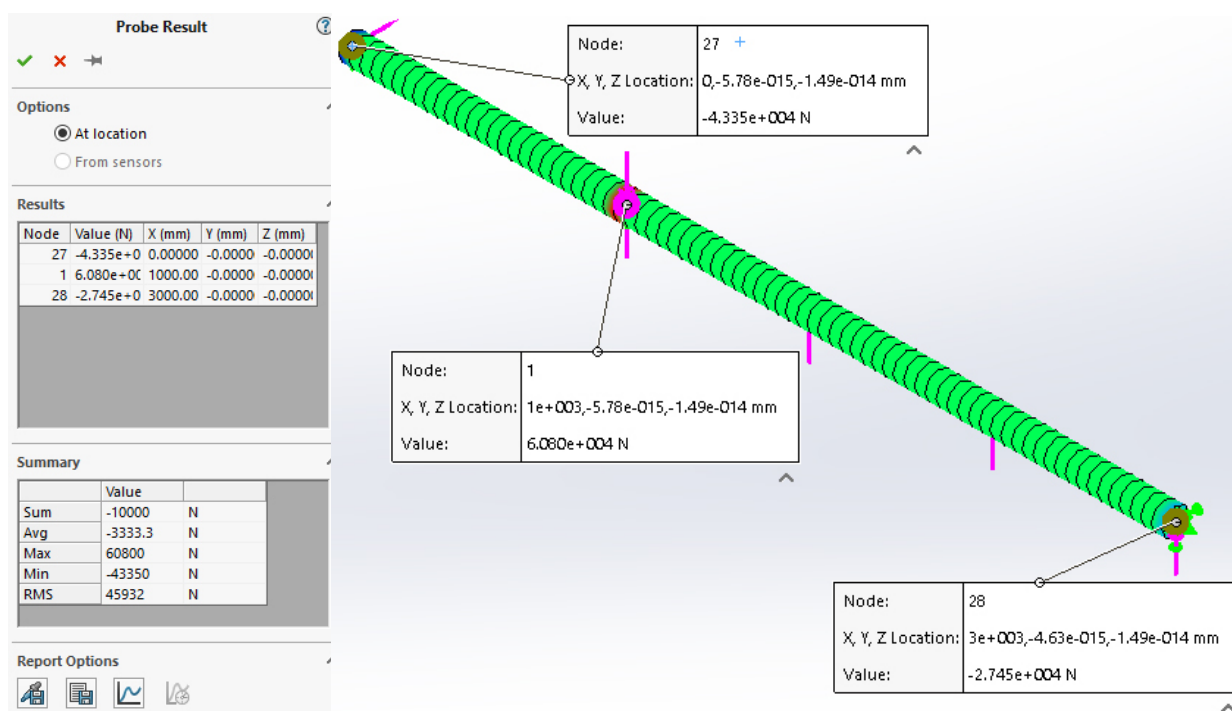


Рис. 4.33

Назву епюри в *Дереві дослідження* можна перейменувати, виділивши її ЛКМ, і повторивши натискання по ній приблизно через 2-3 секунди, або ж натиснути один раз ЛКМ по вже обраній епюрі.

Розглянемо контекстне меню епюри в *Дереві дослідження* (для епюр балок). Основні загальні для всіх епюр балки пункти в ньому такі:

- *Hide (Скрыть)* — відключає поточну епюру;
- *Edit Definition (Редактировать определение)* — дозволяє змінювати тип епюри, редагувати масштаб, встановлювати заголовок і пов'язувати включення епюри з орієнтацією будь-якого стандартного виду (тобто, при активації епюри деталь автоматично переорієнтується в просторі відповідно до виду з передньої/задньої чи іншої зазначеної площині, або ж диметрії, ізометрії чи триметрії);
- *Animate (Анимировать)* — запускає анімацію деформації деталі; при цьому можна вибрати швидкість прокрутки деформації, а також зберегти запис процесу деформування в окремий файл (за замовчуванням, *.avi);
- *Chart Options (Параметры графика)* — настройка приміток і типу їх виведення на епюрі; можна вказати необхідність виведення максимального і мінімального значень епюри, розташування, легенда, її розміри, кратність і число десяткових знаків в даних, число кольорів в епюрі.
- *Settings (Параметры)* — настройка параметрів відображення краю епюри (дискретно/безперервно (по замовчуванню)/лінією), параметри границі епюри і зони деформації, де можна висвітлити форму деталі (з налаштуванням прозорості) і, що важливо, висвітлити напрямки балки;
- *Deformed Results (Деформированный результат)* — відображення чи приховування деформації;
- *Print (Печать)* — вивід епюри безпосередньо на принтер;
- *Save as (Сохранить как)* — збереження епюри, як рисунка з заданим розширенням.

Наступний крок — введемо епюри поперечних сил і згинальних моментів. Для цього в *Дереві дослідження* натискаємо ПКМ на пункті

Результати і далі вибираємо *Define Beam Diagrams* чи *Определить диаграмму балки*, якщо програма русифікована (рис. 4.34).

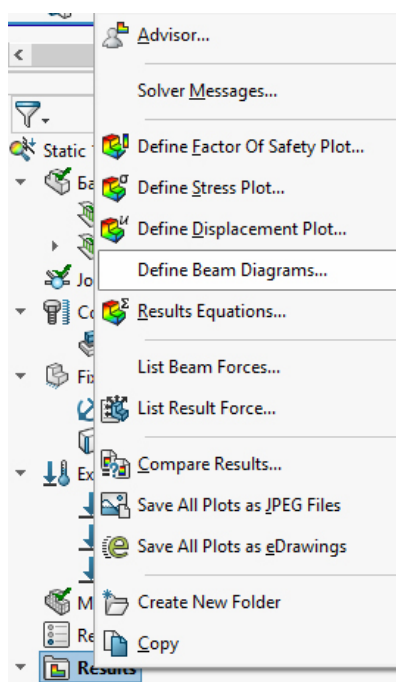



Рис. 4.34

Відкривається вікно *Диаграмма балки*, в якому в закладці *Отображение* в якості Компонента вибираємо *Shear Force in Dir1* (*Сила сдвига в Направлении 1*), так в програмі позначена поперечна сила (рис. 4.35). Після натискання , отримаємо наступний результат (рис. 4.36).

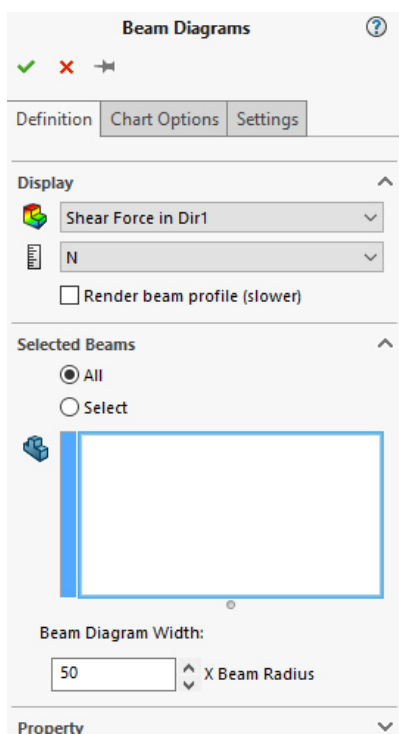


Рис. 4.35

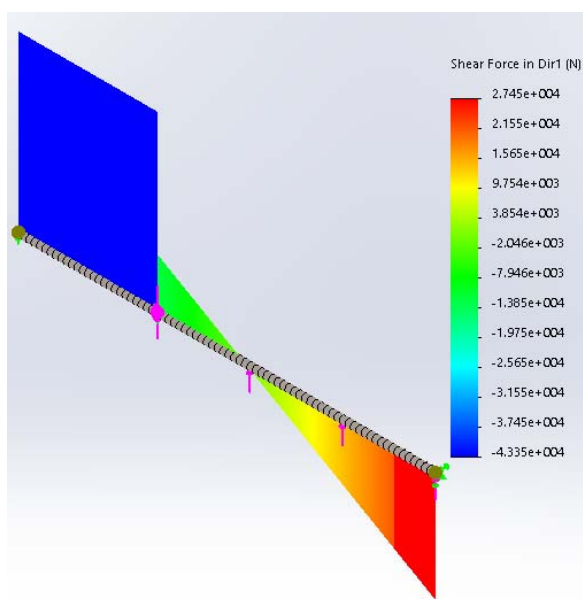


Рис. 4.36

Самостійно рекомендується побудувати епюру згинальних моментів M (для цього необхідно вибрати *Момент в Напрямку 2*). Отримана епюра повинна мати такий вигляд (рис. 4.37).

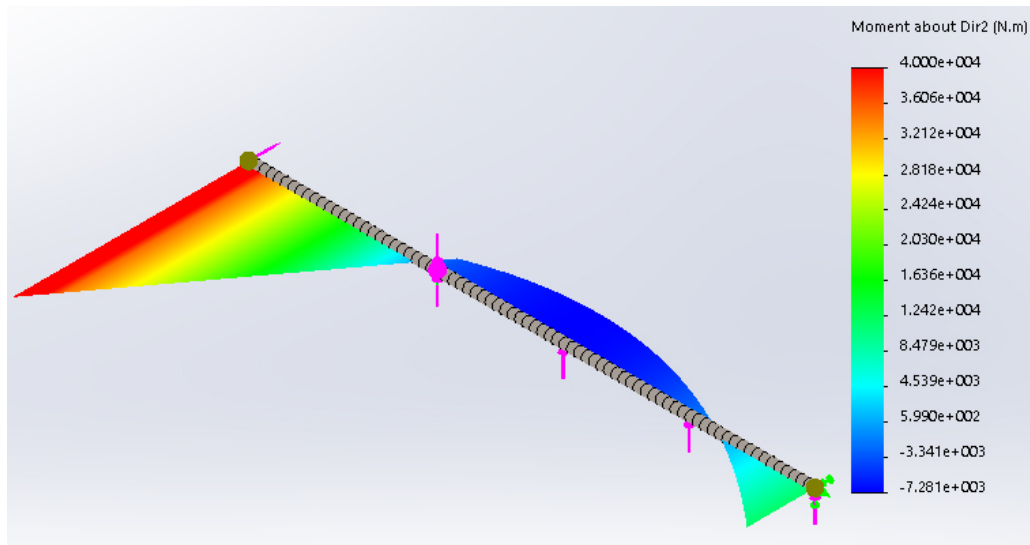


Рис. 4.37

Вибір напрямку при побудові цих діаграм-епюр часто доводиться вести методом перебору, тобто будувати послідовно діаграми щодо кожного напрямку. Особливо, якщо має місце круглий або квадратний переріз.

Провівши зондування ділянок балки на обох епюрах можна переконатися, що результати повністю збігаються з теоретичними.

Зберігаємо балку з розрахунком під ім'ям **Завдання_4.1**.

4.2. Розрахунок двотаврової статично невизначеної балки

Дано: двотаврова статично невизначена балка, що має складений з трьох прямокутників поперечний переріз, зображена на рис. 4.38.

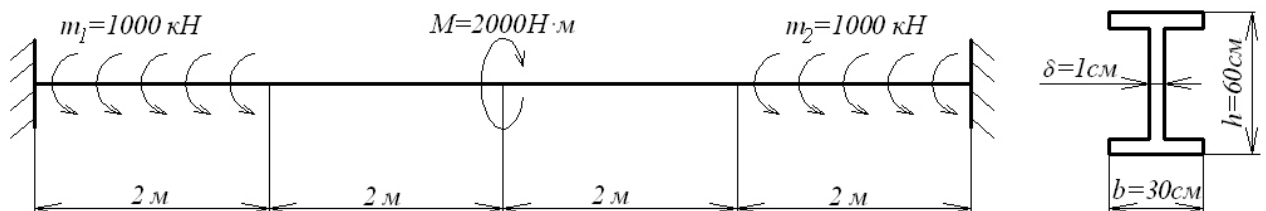



Рис. 4.38

Завдання: побудувати епюру крутних моментів балки. Обчислити величину максимального повороту перерізу балки відносно центральної осі.

Перший крок — створення моделі балки. На початку необхідно створити ескіз перерізу. Ескіз малюємо на площині *Right (Справа)*. Спочатку самостійно будуємо чверть профілю (рис. 4.39). Зверніть увагу, що початок координат повинен знаходитися в геометричному центрі ескізу балки. Потім дзеркально відобразимо побудований ескіз спочатку відносно вертикальної осі, а потім відносно горизонтальної осі.

Вкладка **Эскиз** >  **Зеркальное отображение**. Вибираємо спочатку всі елементи для відображення, а потім ось, відносно якої потрібно відобразити елементи (рис. 4.40). Цю операцію проводимо двічі, щоб отримати двотавровий профіль.

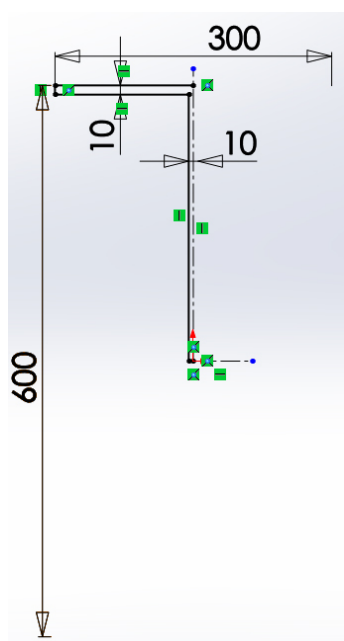


Рис. 4.39

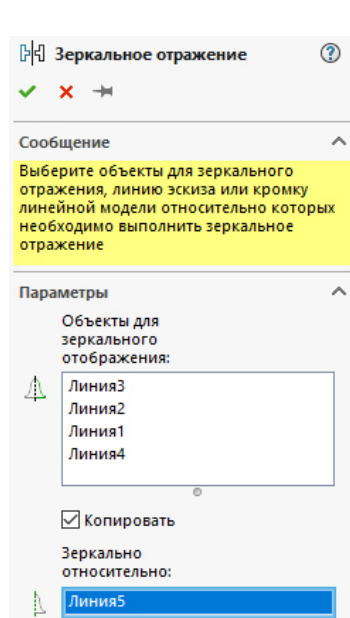
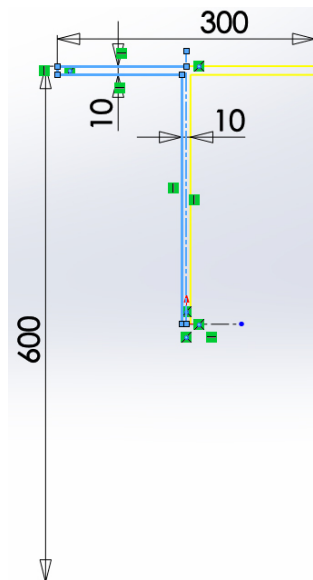



Рис. 4.40



Далі, використовуючи команду **Элементы** >  **Вытянутая бобышка/основание**, витягуємо ескіз на відстань 2000мм, тобто на довжину ділянки балки, до якої додається розподілений крутний момент (рис. 4.41). Подальшу витяжку будемо робити поступово. Це пояснюється не тільки особливістю призначення граничних умов, а й особливостями прикладання навантажень — при розрахунку балочних систем навантаження можна прикладати тільки до Сполучень/точок на поверхні балок/самим балкам. Прикладення до однієї балки декількох, наприклад, розподілених навантажень — неможливо.

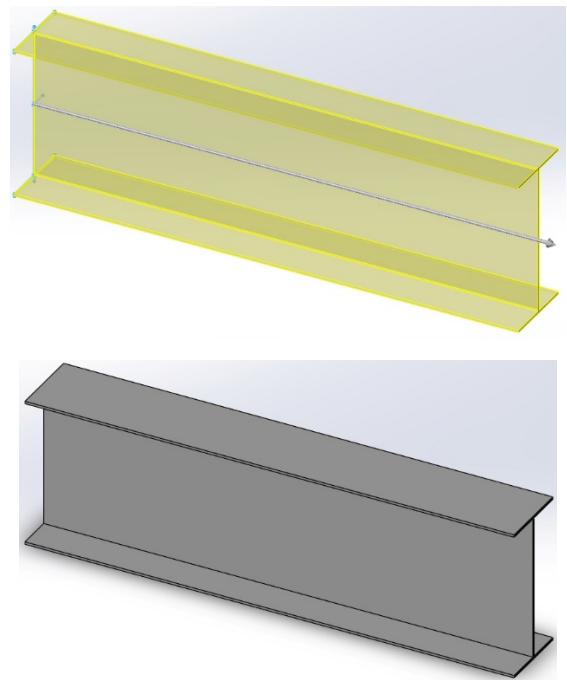
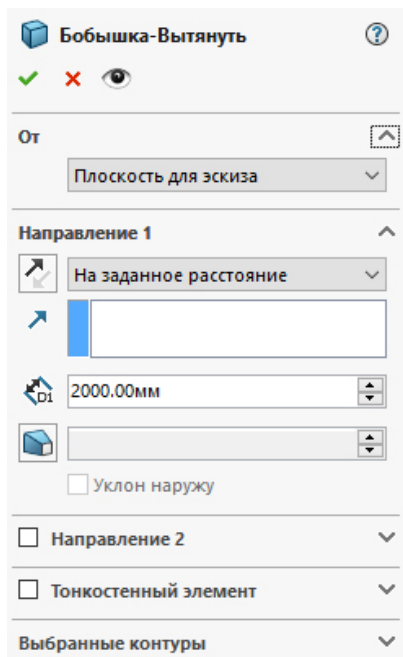




Рис.4.41

Для побудови інших елементів балки можна і далі використовувати команду  **Вытянутая бобышка/основание**, але, так як всі елементи балки однакової довжини по 2000 мм, більш раціонально використовувати команду  **Линейный массив** (рис. 4.42). Готова модель балки має вигляд, наведений нижче.

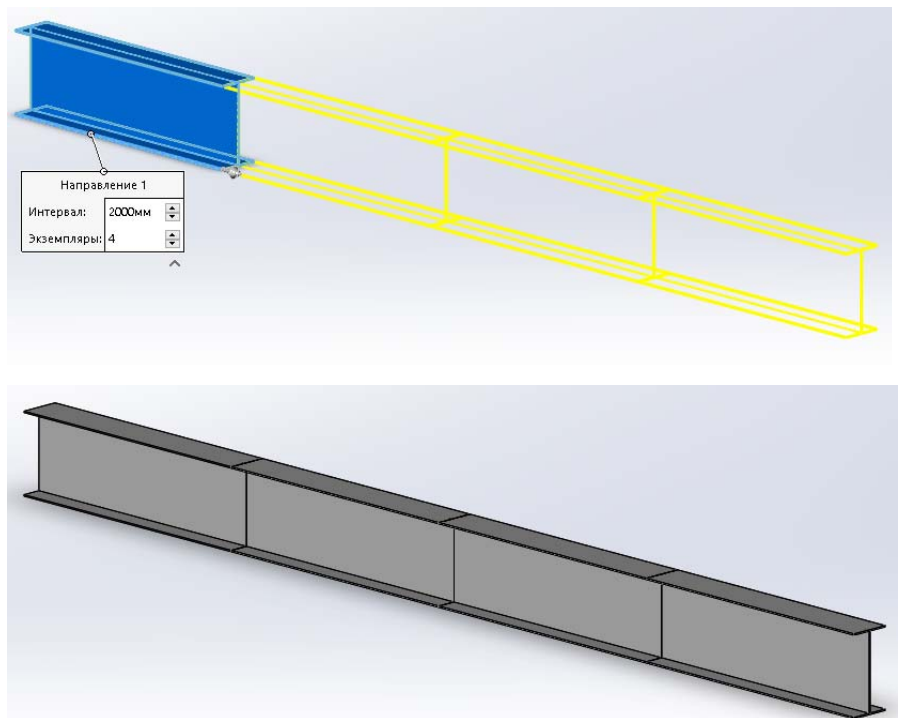
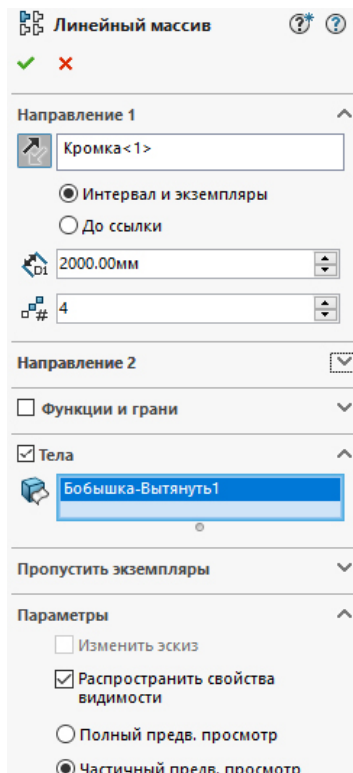



Рис. 4.42

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks > SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'являється нова вкладка **Simulation**.

Вкладка **Simulation > Консультант Исследования > Новое исследование** (рис. 4.43). У вікні *Study (Исследование)* вибираємо тип дослідження — **Static (Статическое)** (рис. 4.44). Натискаємо .

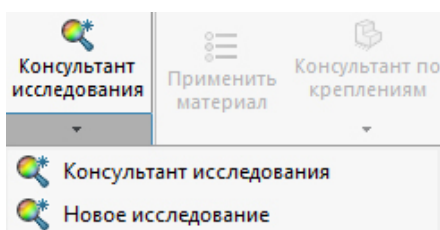


Рис. 4.43

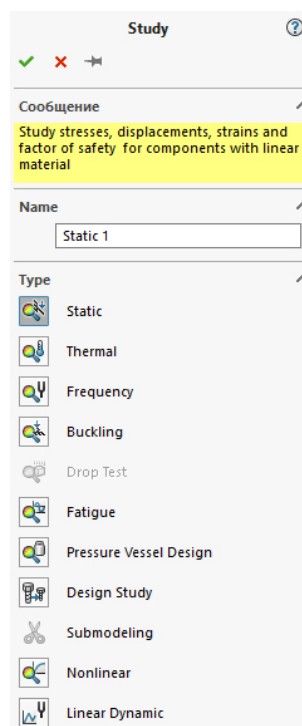


Рис. 4.44

З'являється Дерево дослідження (рис. 4.45).

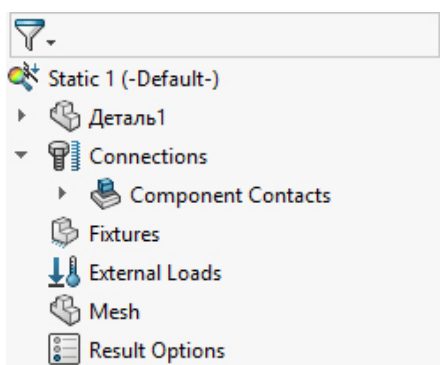


Рис. 4.45

Розгорнувши **Деталь1**, бачимо, що всі елементи визначені як тверді тіла. Виділимо всі чотири елементи і натиснемо ПКМ. Відкривається меню, в якому вибираємо пункт **Рассматривать все тела как балки** (рис. 4.46).

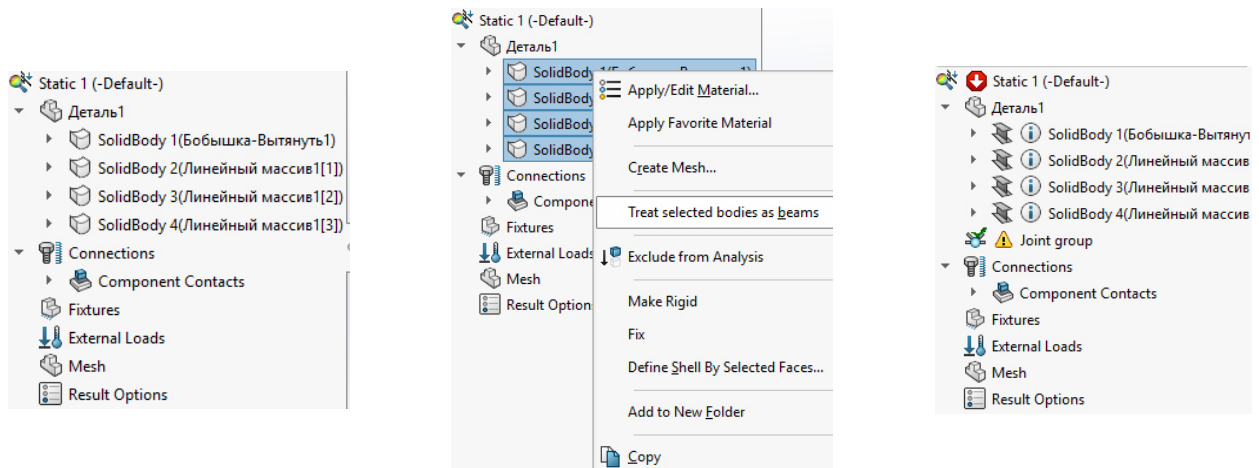


Рис. 4.46

Далі обчислимо з'єднання (рис. 4.47). Для цього натискаємо ПКМ на пункті *Joint group* (Група соединений) і вибираємо *Edit* (Редактировать).

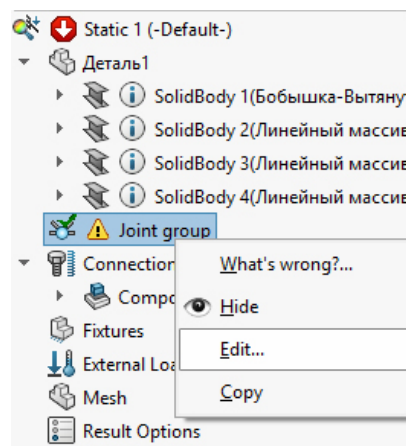


Рис. 4.47

В откритому вікні *Edit Joints* (Редактировать соединения) нажимаємо **Calculate** (Вычислить). Натискаємо  (рис. 4.48).

Наступний крок — призначення матеріалу. Для присвоєння матеріалу елементам балки в Дереве исследования натискаємо ПКМ на закладці **Деталь1** і вибираємо *Apply Material to all bodies* (Применить материал ко всем телам).

Відкривається вікно *Материал*, в якому вибираємо **solidworks materials**. Далі з бібліотеки матеріалів вибираємо сталь **AISI 1010 Сталь, горячекатаная полоса** (модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, що відповідає умові завдання). **Применить > Закреть**.

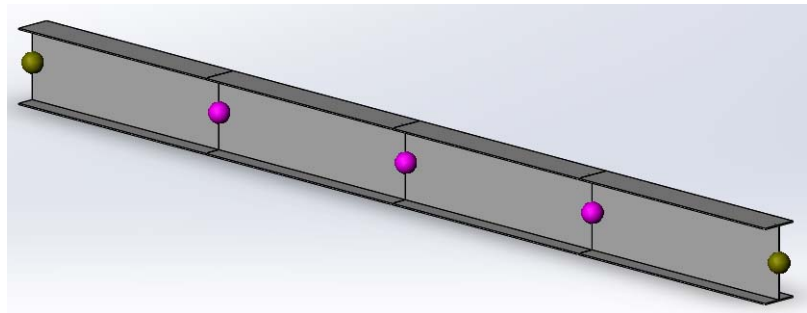
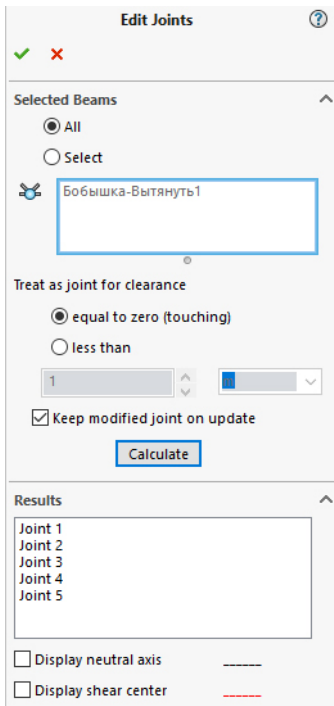


Рис. 4.48

Далі призначаємо на крайніх з'єднаннях балки жорстке закріплення. Для цього (рис. 4.49) натискаємо ПКМ на пункте *Fixtures* (Крепления) и обираємо *Fixed Geometry* (Зафиксированная геометрия).

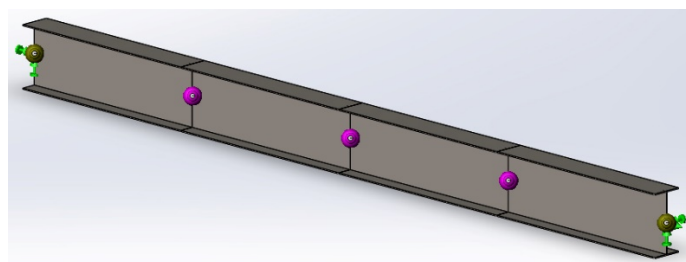
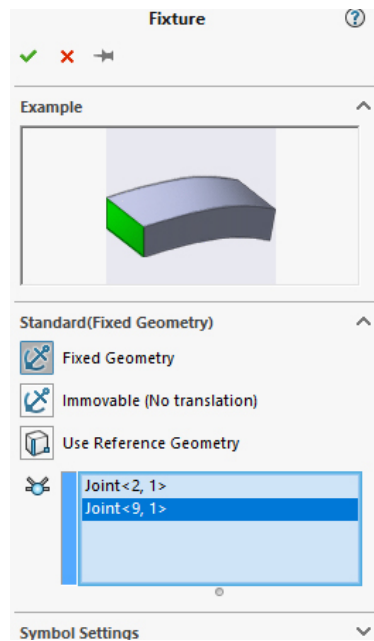
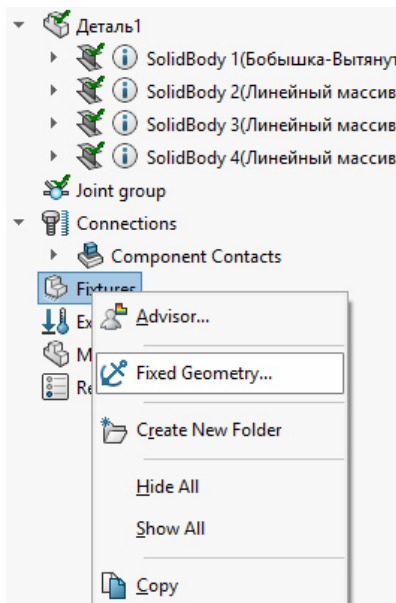



Рис. 4.49

Рис. 4.50

У вікні *Fixture (Крепление)* обираємо крайні зв'язки балки (рис. 4.50). Натискаємо .

Наступний крок — призначаємо навантаження (рис. 4.51). Для цього ПКМ натискаємо на пункті *Внешние нагрузки* і далі — *Force (Сила)*.

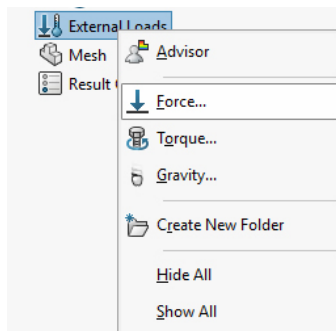




Рис. 4.51

У вікні *Сила/вращающий момент* вибираємо *Соединения* . Після чого вибираємо середній шарнір. В якості направляючої площині вибираємо площину *Right (Справа)*. І вказуємо напрямок в поле *Момент* —  *Перпендикулярно плоскости*. Зазначимо величину моменту — 2000Н м, і відзначимо *Реверс направления* (рис. 4.52). Натискаємо .

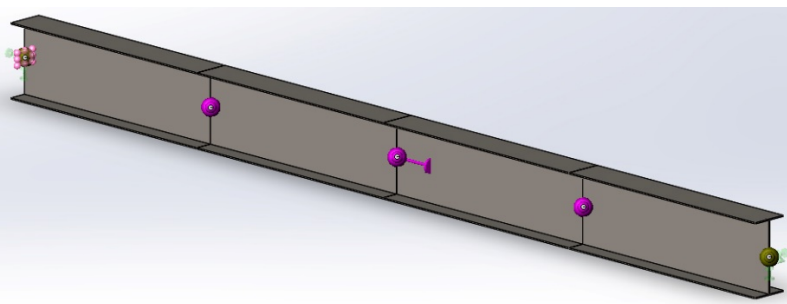
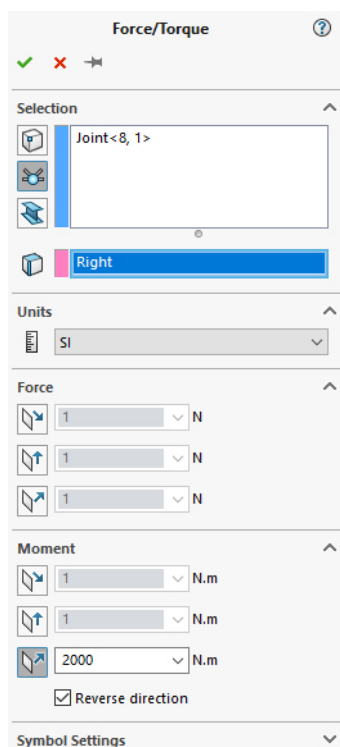





Рис. 4.52

Далі призначаємо розподілені крутні моменти. Для цього ПКМ натискаємо на пункті *Внешние нагрузки* і далі — *Force (Сила)*. У вікні

Сила/вращающий момент вибираємо  Балки. Після цього вибираємо крайні елементи балки. В якості направляючої площини вибираємо площину *Справа (Right)*. І вказуємо напрямок в поле Момент —  *Перпендикулярно плоскости*. Значимо величину моменту — 1000 Н·м. Обираємо *Per unit length (на единицу длины)*. Згадуємо правило: якщо дивимося з боку вістря стрілки — момент буде спрямований проти годинникової стрілки; якщо дивимося з боку капелюшки — момент спрямований за годинниковою стрілкою. Натискаємо .

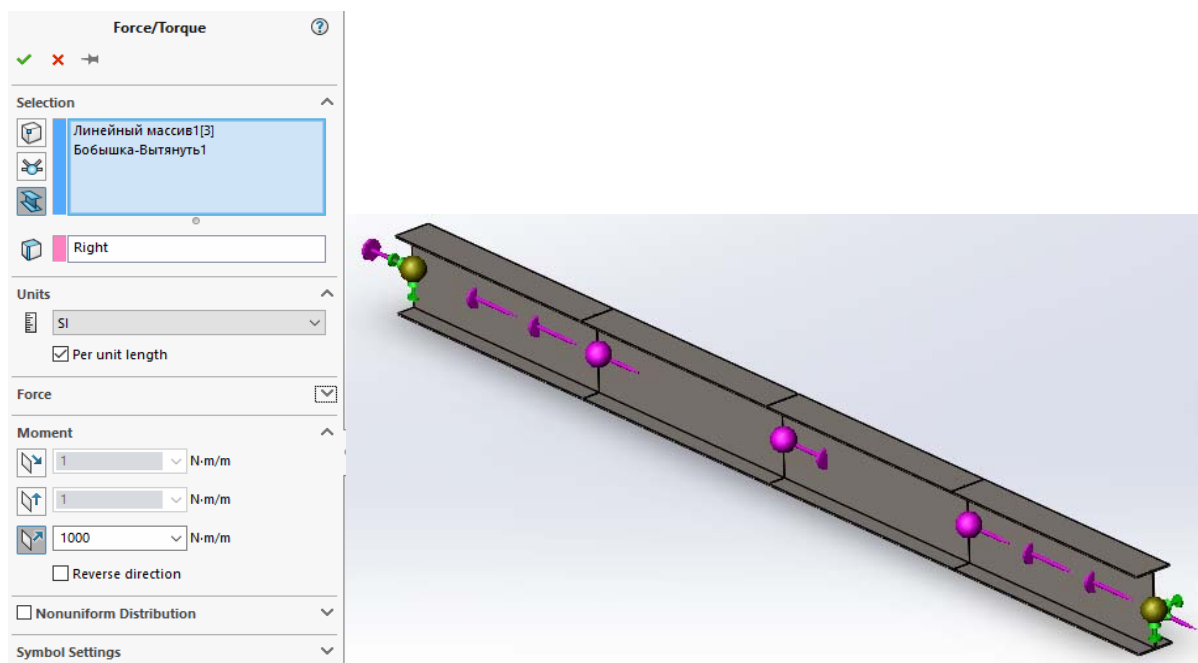


Рис. 4.53

Далі натискаємо ПКМ по назві дослідження в Дереві дослідження і вибираємо *Run Выполнить* (рис. 4.54).

Програма автоматично будує сітку і виконує розрахунок. За замовчуванням обчислюються максимальні напруження і максимальні переміщення. Програма при виборі максимального напруження не розглядає напруження від крутіння (при розрахунку балок), тому на даній епюрі вони дорівнюють нулю.

Побудуємо епюру крутіння. У дереві дослідження натискаємо ПКМ на пункті *Results Результаты* і далі вибираємо *Define Beam Diagrams Определить диаграмму балки* (рис. 4.55).

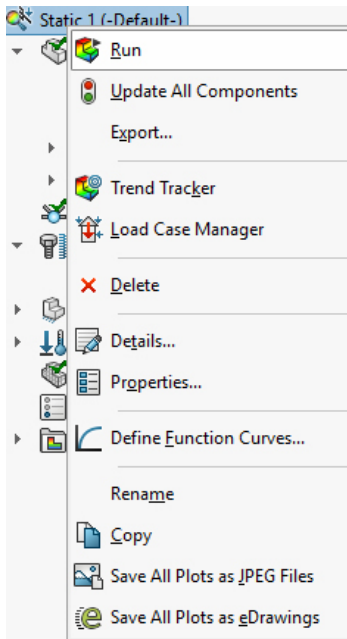


Рис. 4.54

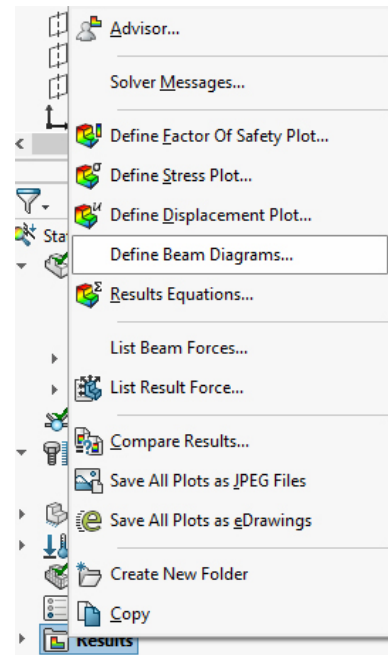


Рис. 4.55

Відкривається вікно *Діаграма балки*, в якому в закладці *Display* *Отображение* вибираємо *Torque* *Врацающий момент*. Натискаємо . Епюра крутіння матиме вигляд, що на рис. 4.56.

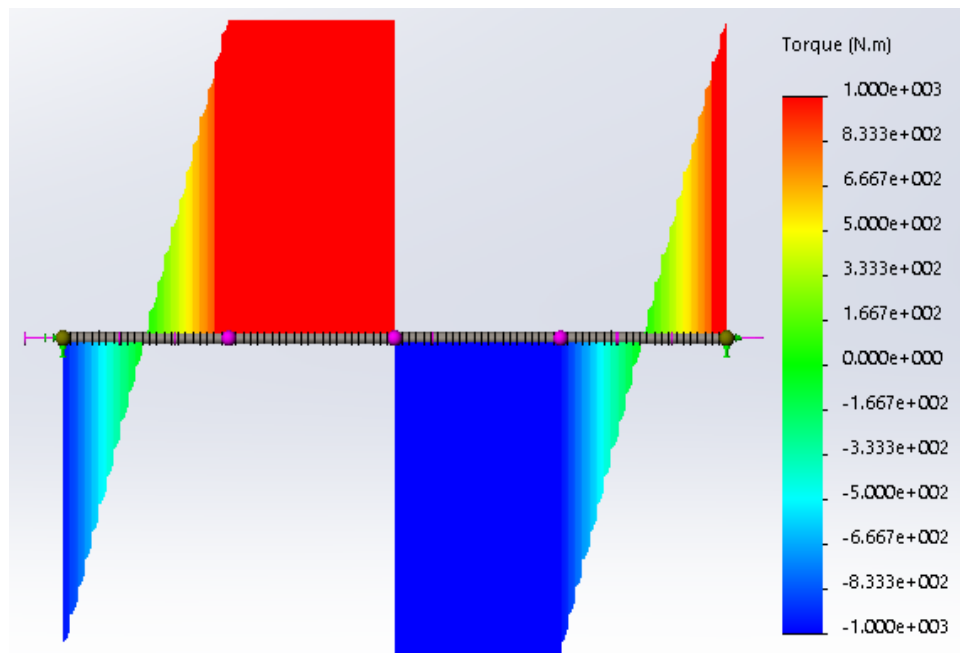



Рис. 4.56

Далі побудуємо епюру кутів повороту. У дереві дослідження натискаємо ПКМ на пункті *Results* *Результаты*, як показано на рис. 4.57, і далі вибираємо *Построить эпюру перемещения* (*Define Displacement Plot*).

Відкривається вікно *Епюра перемещення*, в якому вибираємо *Компонент — RX: Вращение в направлении X* (рис. 4.58). В якості одиниць виміру вибираємо радіани (rad) і натискаємо .

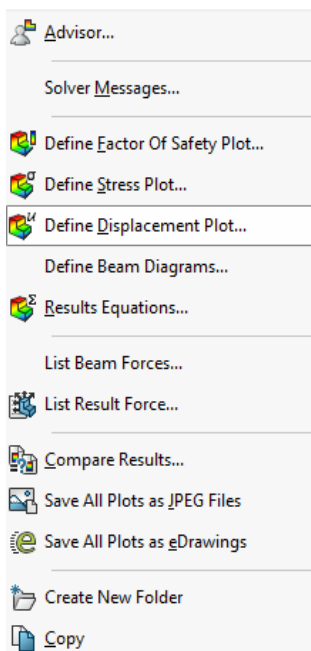


Рис. 4.57

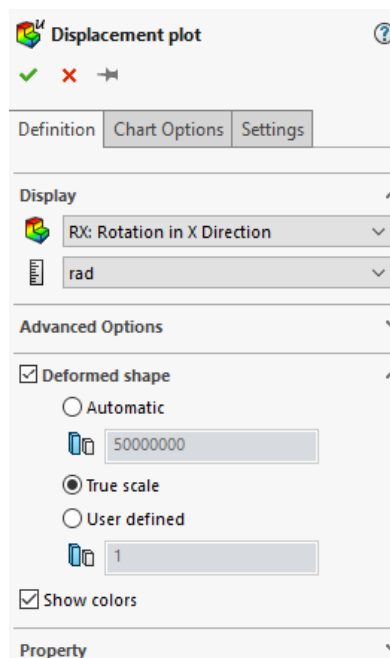
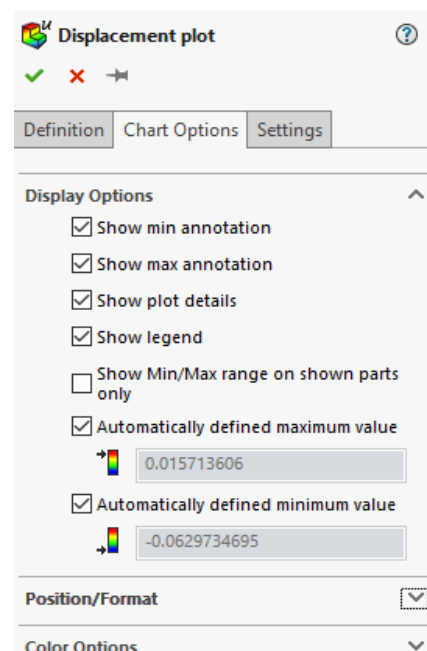


Рис. 4.58



При побудові епюри в її контекстному меню вибираємо пункт **Параметры графика** (Chart Options) і відзначимо галочками відображення мінімальних і максимальних поворотів. Отримана епюра представлена на рис. 4.59.

На епюрі показані кути повороту перерізу в радіанах. Знак «-» на другій примітці говорить про поворот за годинниковою стрілкою.

Зберігаємо балку з розрахунком під ім'ям **Завдання_4.2**

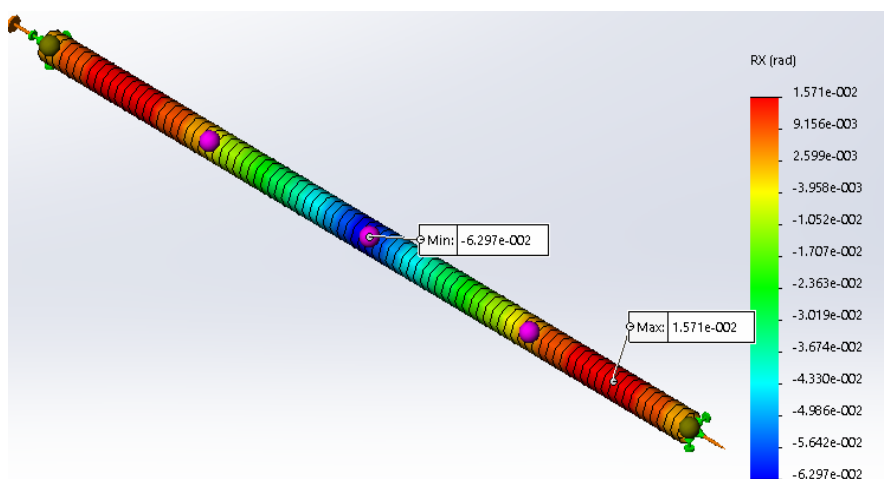


Рис. 4.59

4.3. Розрахунок плоско-просторової системи

Дано: жорстко затиснена плоско-просторова система (рис. 4.60) має постійний прямокутний переріз всіх елементів $0,02 \times 0,08$ м; матеріал — сталь з модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

Завдання: побудувати епюри крутих і згинальних моментів плоско-просторової системи, порівняти з теоретичними (рис. 4.61).

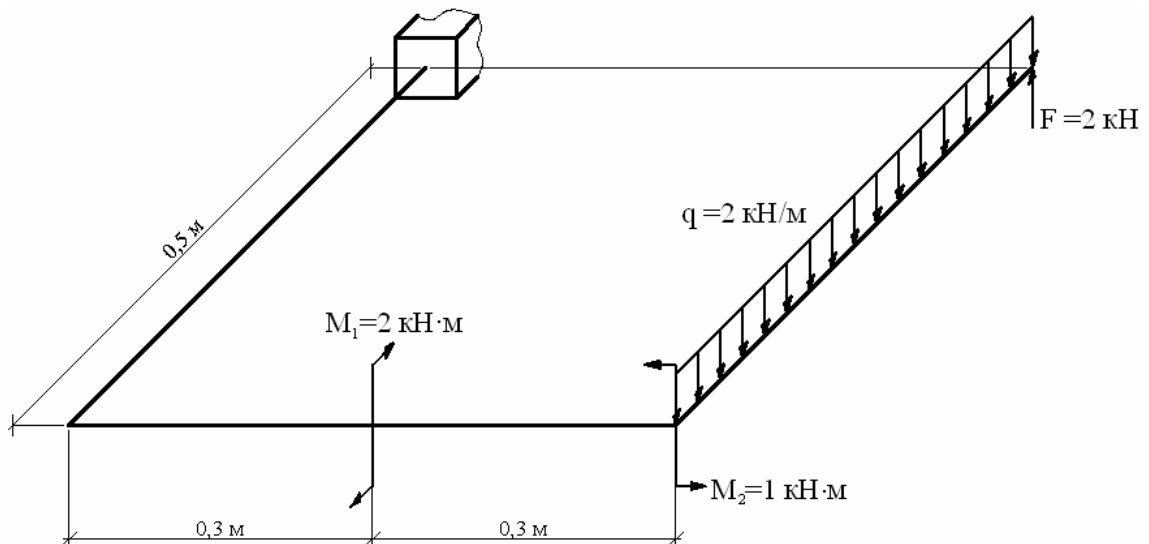


Рис. 4.60

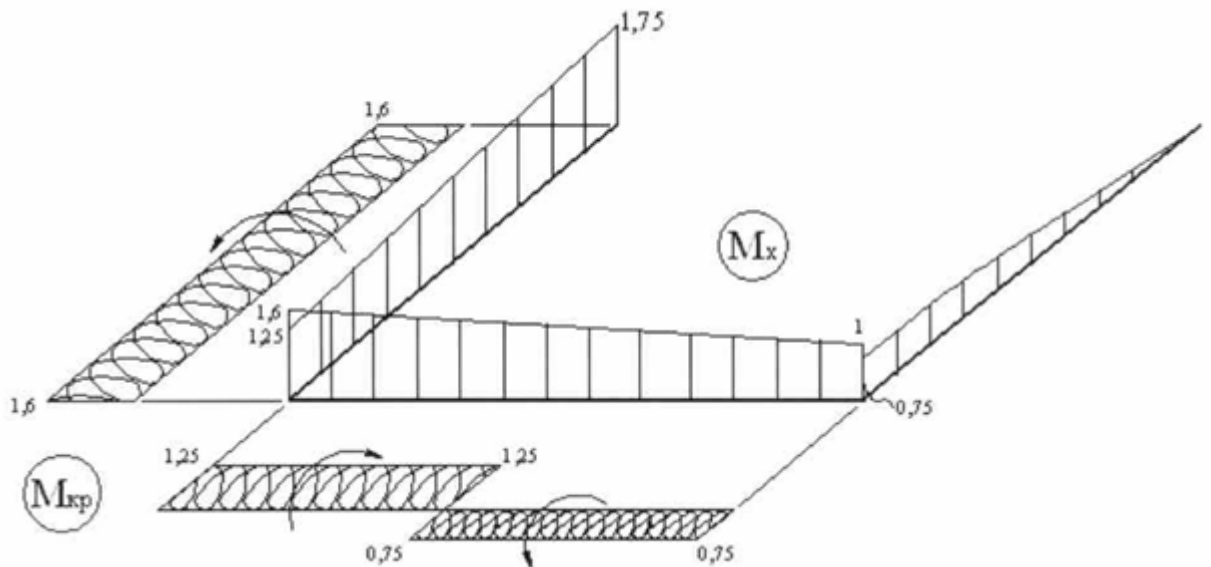


Рис. 4.61

Порядок виконання завдання:

Створимо модель плоско-просторової системи. Для цього скористаємося командою **Бобышка/основание по траектории** панелі інструментів **Элементы**.

Спочатку на площині *Top (Сверху)* малюємо ескіз системи, як показано на рис. 4.62. Особливу увагу слід звернути на місцезнаходження початку координат.

Далі на площині *Front (Спереди)* створюємо ескіз перерізу плоско-просторової системи, як зображено на рис. 4.63.

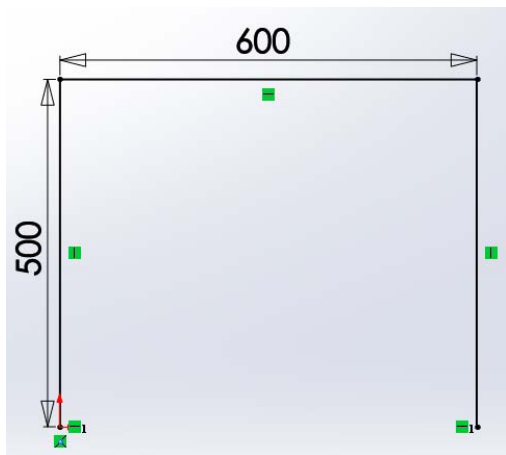


Рис. 4.62

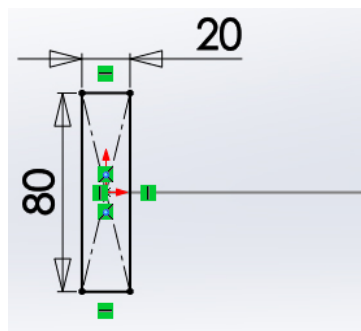




Рис. 4.63

Далі, використовуючи команду  **Бобышка/основание по траектории**, створюємо модель системи (рис. 4.64). Обовязково перевіряємо, щоб пункт *Соединение касающихся граней* був не активним. .

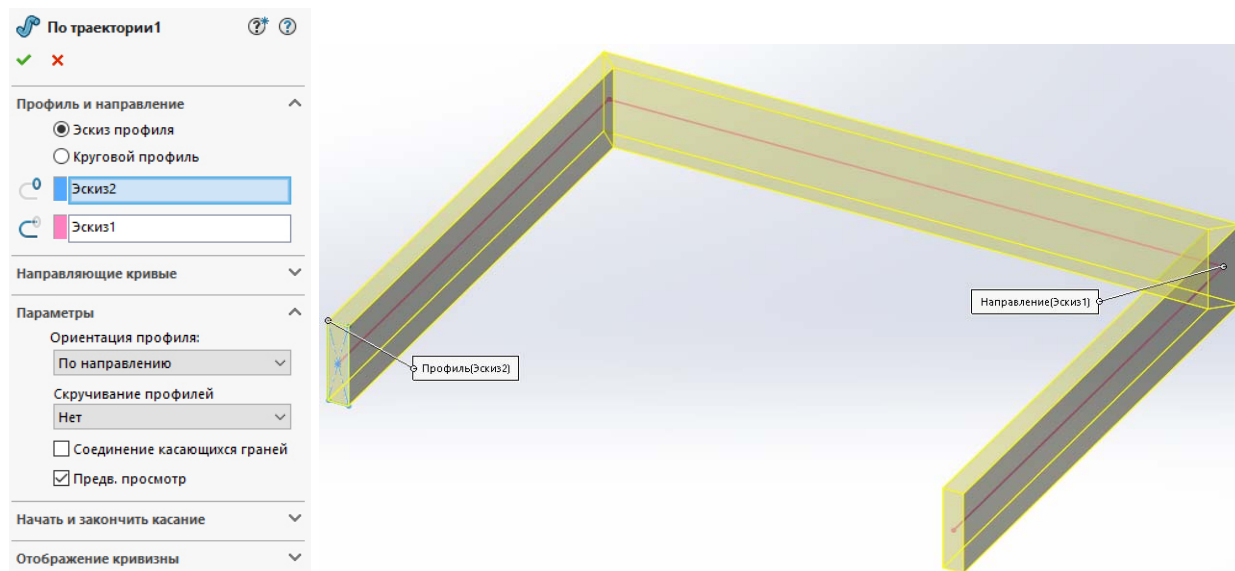


Рис. 4.64

Наступний крок — розділимо плоско-просторову систему на частини, щоб далі можна було прикласти навантаження. Для цього спочатку створимо допоміжні площини.

Плоскость1 на відстані 300 мм від площини *Right (Справа)* та *Плоскость2* та *Плоскость3* в кутах системи, як показано на рис. 4.65.

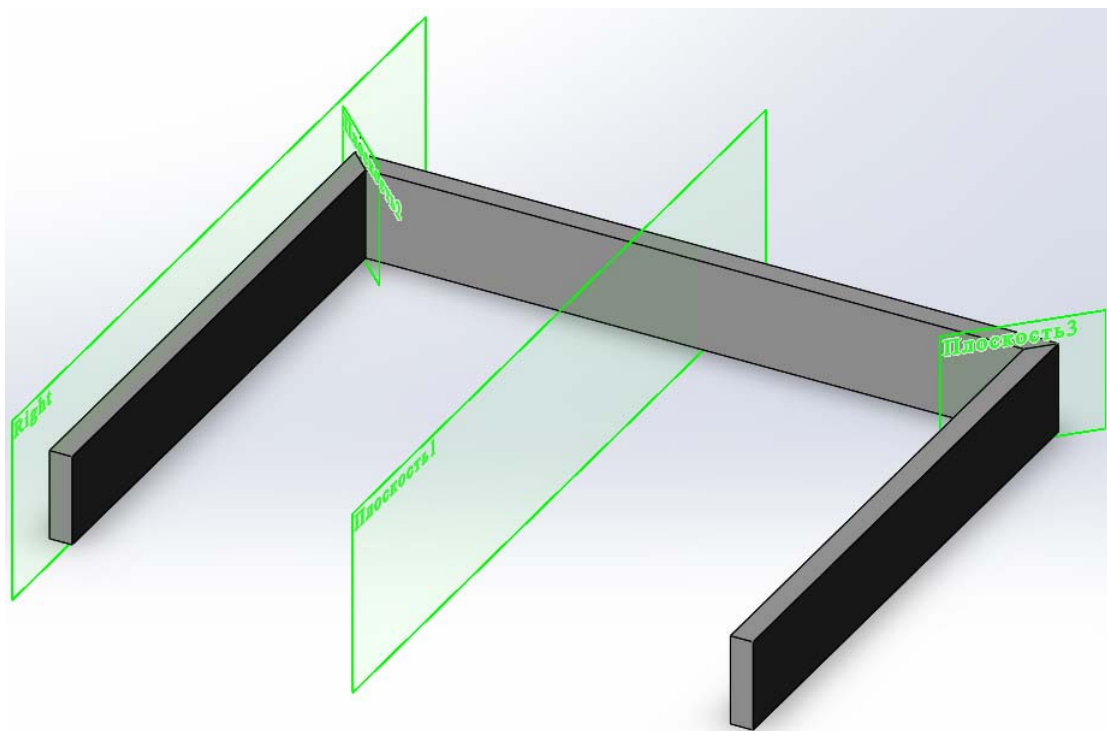




Рис. 4.65

Для поділу системи на частини використовуємо команду  **Разделить**, панелі інструментів **Элементы** або меню **Вставка > Элементы >  Разделить**. Модель плоско-просторової системи готова (рис. 4.66).

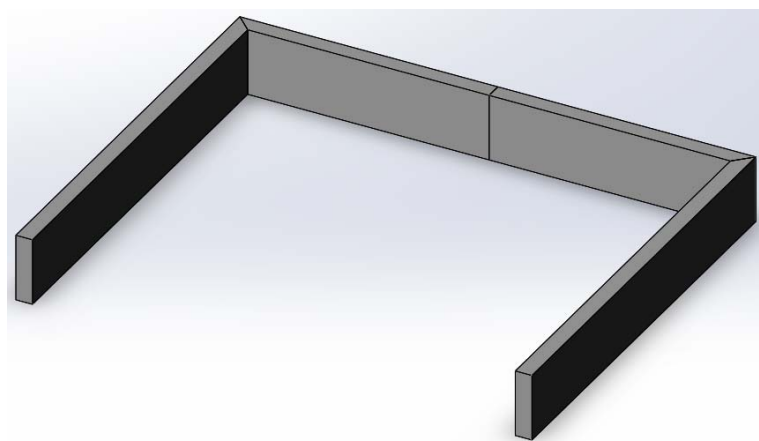





Рис. 4.66

Перед розрахунком зберігаємо готову модель з ім'ям **Завдання_4.3**.

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks > SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'являється нова вкладка **Simulation**.

Вкладка **Simulation** > **Консультант Исследования** >  **Новое исследование** (рис. 4.67). У вікні *Study* (*Исследование*) вибираємо тип дослідження —  **Static** (Статическое) (рис. 4.68). Натискаємо .

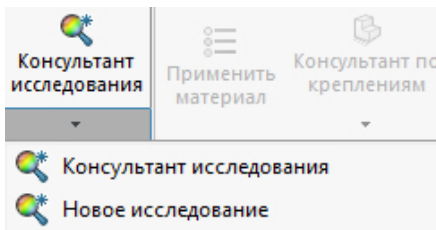


Рис. 4.67

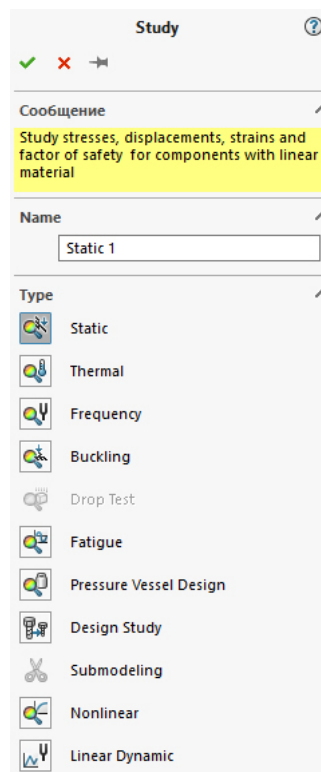


Рис. 4.68

Відкривається *Дерево исследования*. Розгорнувши закладку **Завдання_4.3**, бачимо, що всі елементи визначені, як тверді тіла. Виділимо всі чотири елементи і натиснемо ПКМ. Відкривається меню, в якому вибираємо пункт **Рассматривать все тела как балки** (рис. 4.69).

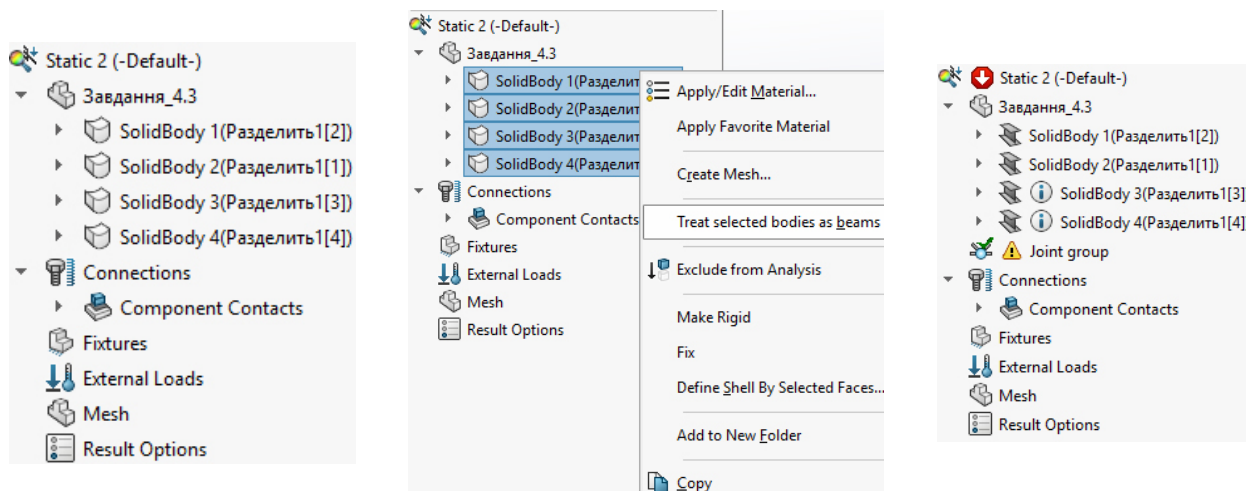


Рис. 4.69

Призначаємо групи з'єднань (рис. 4.70). ПКМ натискаємо на рядку **Joint group** Група соединений в *Дереве исследования* і вибираємо **Edit** (Редактировать...).

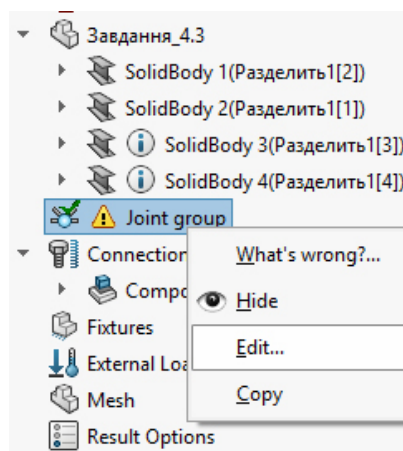



Рис. 4.70

У вікні *Edit joints* (Редактировать соединения) натискаємо кнопку **Calculate** (Вычислить) (рис. 4.71). В полі *Результати* з'явиться список активних з'єднань, на кресленні вони будуть відзначені кульками — вузлами. При розрахунку балкових систем в даному пакеті тільки в місцях вищеназаних з'єднань можна вказувати граничні умови .

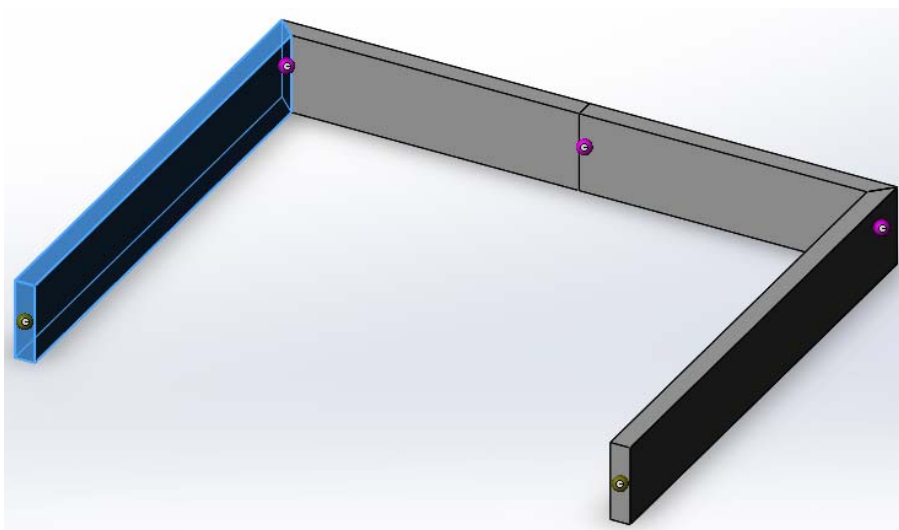
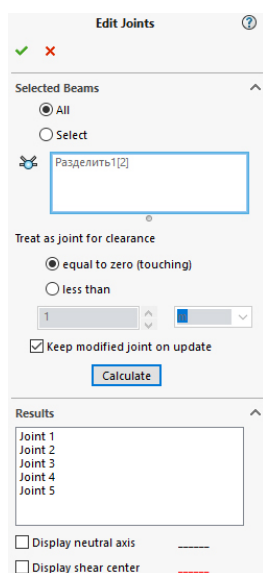


Рис. 4.71

Наступний крок — призначення матеріалу елементам плоско-просторової системи. Для присвоєння матеріалу в *Дереве исследования* натискаємо ПКМ на закладці **Завдання_4.3** і вибираємо **Применить материал ко всем телам...**

Відкривається вікно *Материал*, де вибираємо **solidworks materials** (рис. 4.72). З бібліотеки матеріалів вибираємо сталь **AISI 1010 Сталь, горячекатаная полоса** ($E = 2 \cdot 10^{11} \text{Па}$). **Применить > Закреть**.

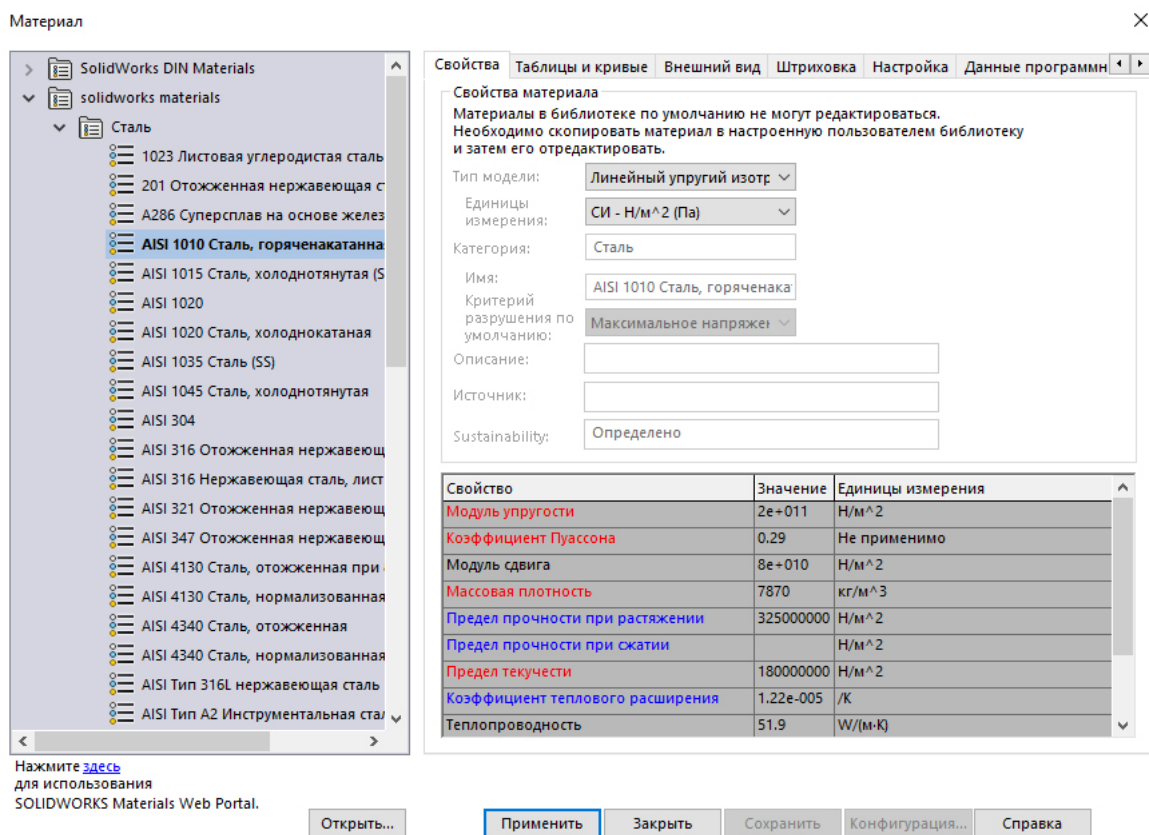


Рис. 4.72

Наступний крок — призначення кріплення. Назначимо жорстке закріплення. Для цього, як показано на рис. 4.73, натискаємо ПКМ на пункті *Fixtures (Крепления)* и обираємо *Fixed Geometry (Зафиксированная геометрия)*. Відкривається вікно *Fixture Крепление*, в графічній області обираємо зв'язок, до якого прикладене кріплення згідно с початковою схемою (рис. 4.74). Натискаємо

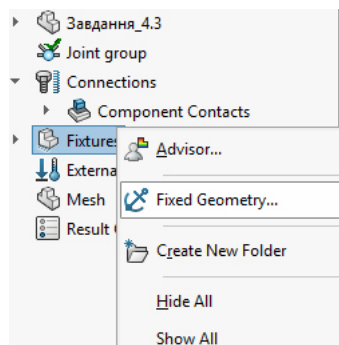


Рис. 4.73

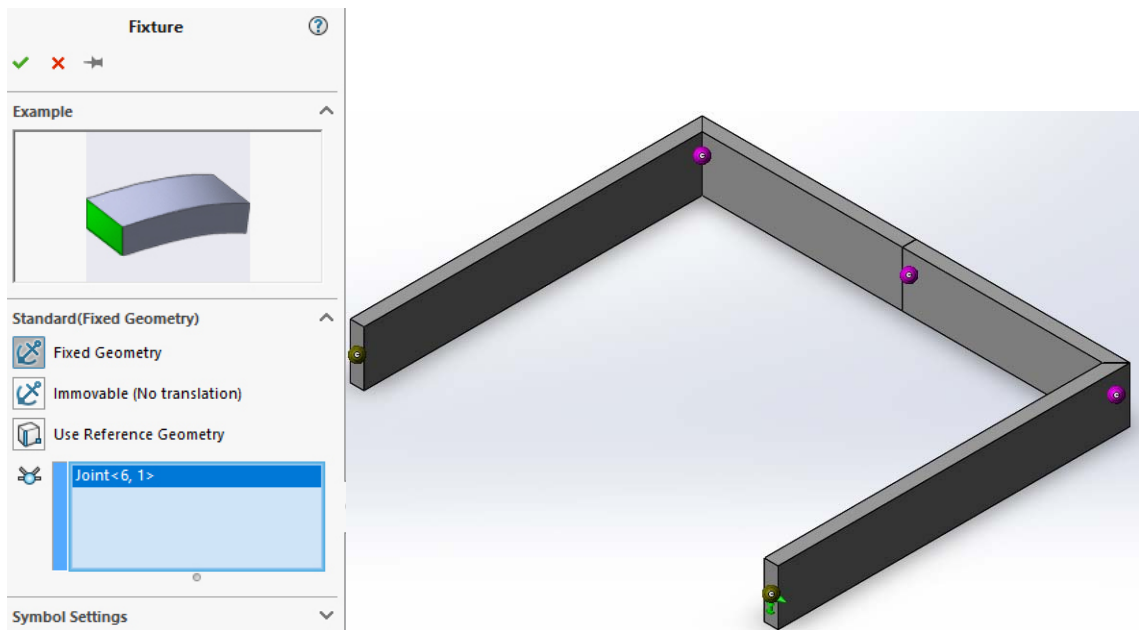


Рис. 4.74

Наступний крок — призначення навантажень.

Прикладення сили — ПКМ натискаємо на пункті *Внешние нагрузки* (рис. 4.75) і далі — *Force (Сила)*.

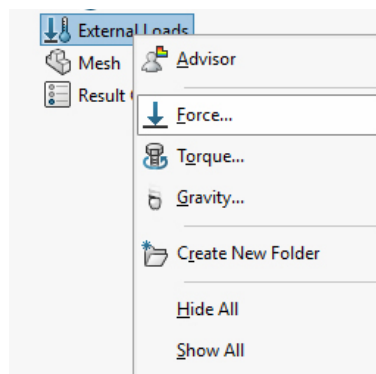






Рис. 4.75

Відкривається вікно *Force/Torque (Сила/вращающий момент)*, в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Selection (Выбор)* обираємо *Соединения* , і в графічній області вибираємо з'єднання на вільному кінці, до якого прикладена сила;
- в якості  *Грань, Кромка, Плоскость, Оси* для напрямлення вибираємо верхню грань моделі (рис. 4.76);
- в полі *Force (Сила)* вибираємо  *Normal to plane (Перпендикулярно плоскости)* і вводимо значення сили — 2000 Н/м. .

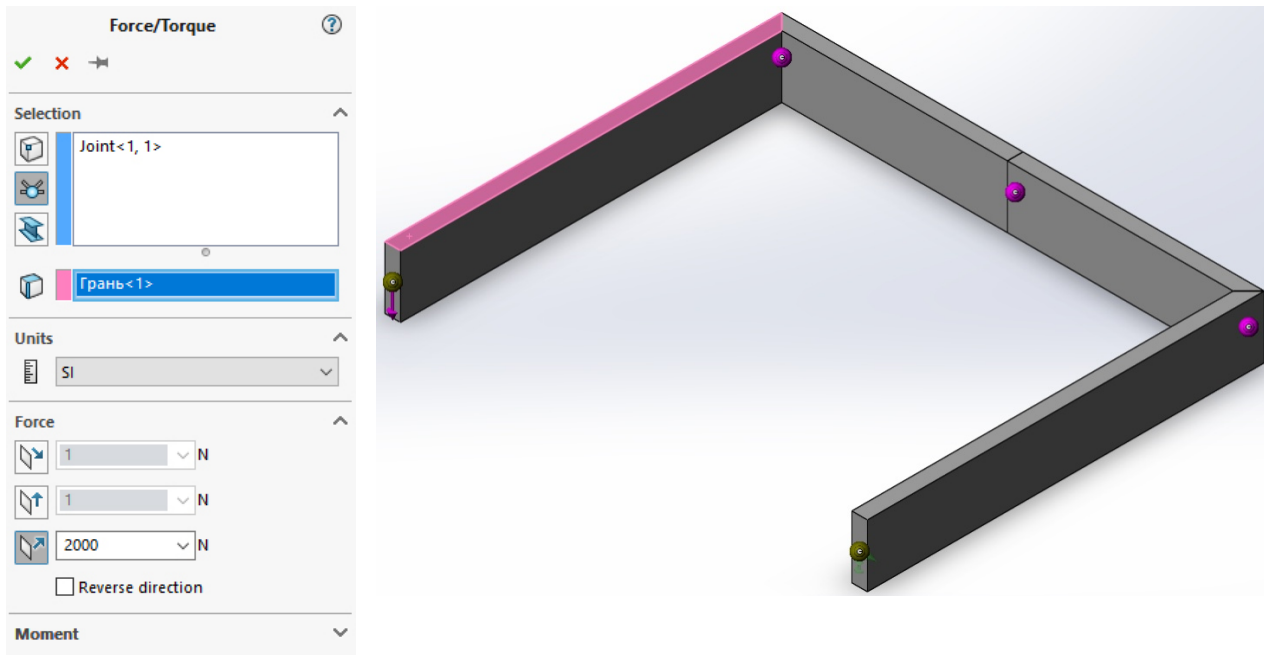




Рис. 4.76

Прикладення крутних моментів. Призначаємо крутний момент M_1 — ПКМ натискаємо на пункті *Внешние нагрузки* і далі — *Force (Сила)*, аналогічно попередньому пункту.

Відкривається вікно *Force/Torque (Сила/вращающий момент)*, в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Selection (Выбор)* обираємо *Соединения* , і в графічній області вибираємо з'єднання в середині другого стержня, до якого прикладене момент M_1 ;

- в якості  *Грань, Кромка, Плоскость, Оси* для направлення вибираємо грань моделі, як показано на рис. 4.77;

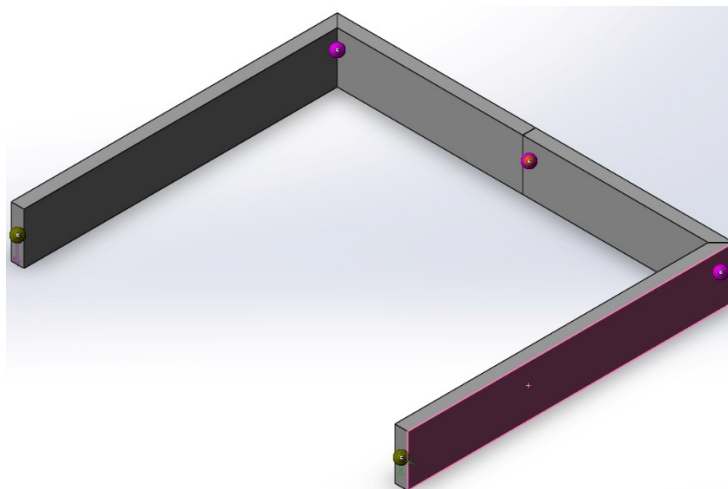




Рис. 4.77

– в полі *Moment* (Момент) вибираємо  *Normal to plane* (Перпендикулярно плоскості) і вводимо значення сили — 2000 Н·м та включаємо реверс напрямлення (рис.4.78). . Згадуємо правило: якщо дивимося з боку вістря стрілки — момент буде спрямований проти годинникової стрілки; якщо дивимося з боку капелюшки — момент спрямований за годинниковою стрілкою.

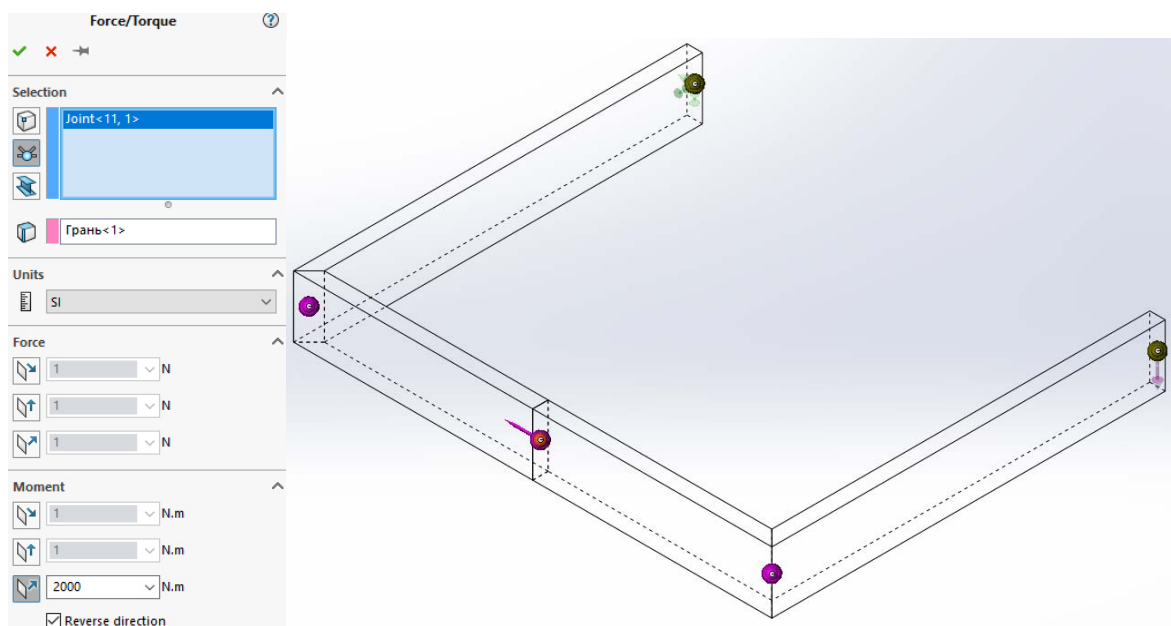




Рис. 4.78

Призначити крутний момент M_2 рекомендується **самостійно**.

Призначення розподіленого навантаження — ПКМ натискаємо на пункті *Внешние нагрузки* і далі — *Force* (Сила).

Відкривається вікно *Force/Torque* (Сила/вращающий момент), в якому виконуємо наступні дії:

– в закладці *Selection* (Выбор) обираємо  *Beams* (Балки), і в графічній області вибираємо елемент плоско-просторової системи, до якого прикладене розподілене навантаження (рис. 4.79);

– в якості  *Грань, Кромка, Плоскость, Оси* для напрямлення вибираємо верхню грань стержня;

– в закладці *Units* (Единицы измерения) ставимо галочку *Per unit length* (На единицу длины);

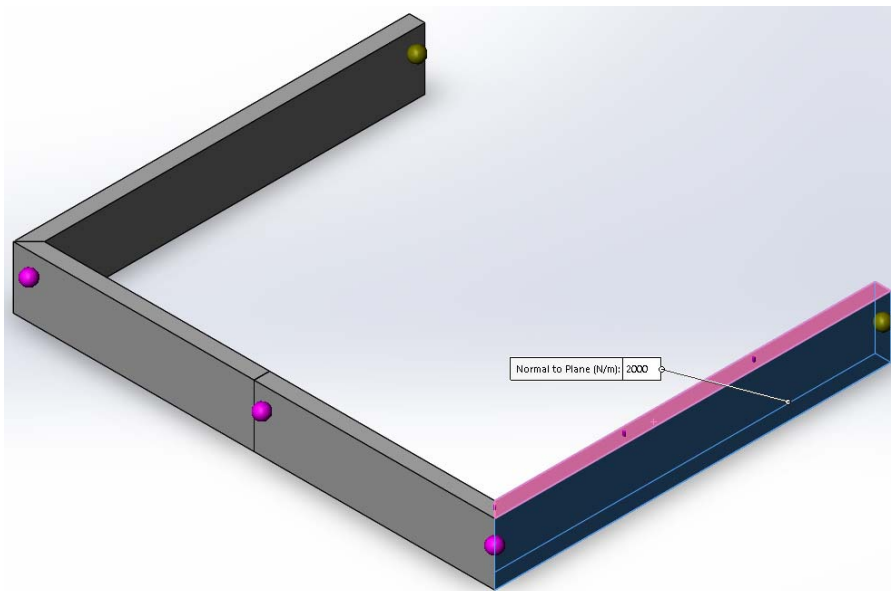




Рис. 4.79

– в полі *Force (Сила)* вибираємо  *Normal to plane (Перпендикулярно плоскості)* і вводимо значення розподіленого навантаження — 2000 Н/м (рис. 4.80). . Рекомендуємо самостійно перевірити схему, так як, в залежності від версії програми, можлива розбіжність в напрямленнях призначених навантажень.

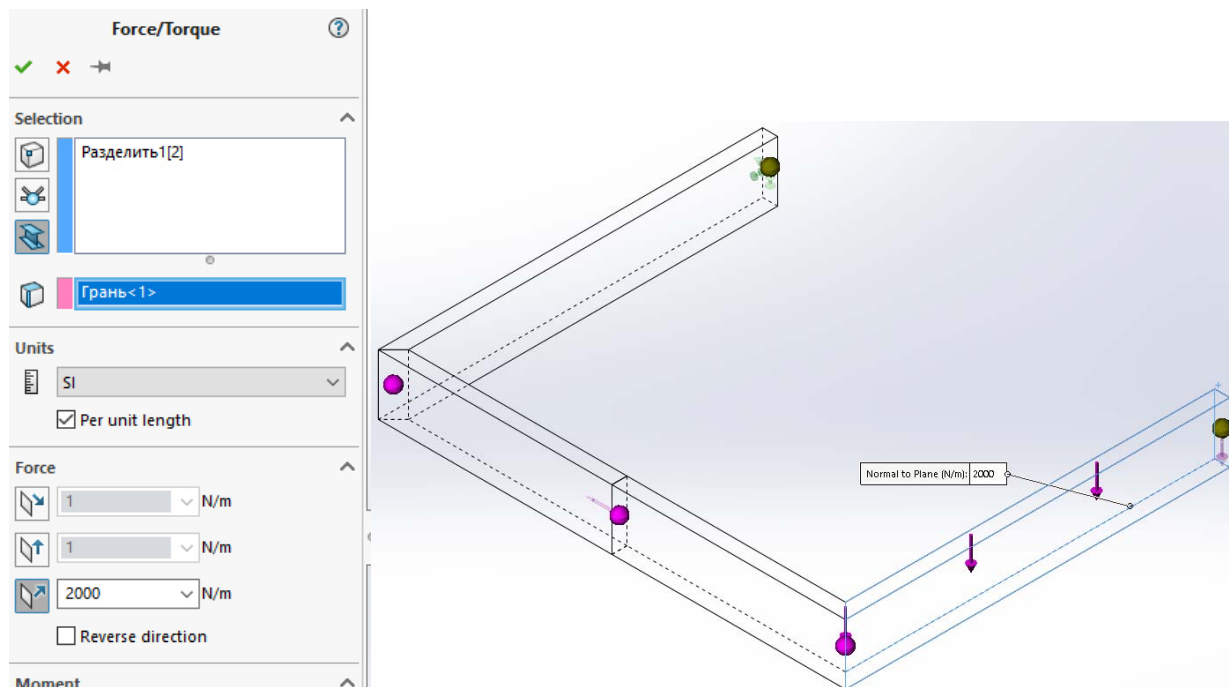




Рис. 4.80

Розрахункова схема готова, приступаємо до розрахунку — натискаємо ПКМ по назві дослідження в *Дереві дослідження* і вибираємо **Run** **Выполнить**.

Програма автоматично будує сітку і виконує розрахунок. За замовчуванням обчислюються максимальні напруження і максимальні переміщення. Нас цікавлять, перш за все, крутний і згинальний моменти. Для їх побудови виконуємо наступні дії: ПКМ натискаємо на закладці *Results* (*Результаты*) і вибираємо *Определить диаграмму балки*. У вікні *Диаграмма балки* в закладці *Отображение* в якості *Компонента*  вибираємо **Момент в Направлении 2**. Натискаємо . Епюра згинальних моментів має наступний вигляд (рис. 4.81).

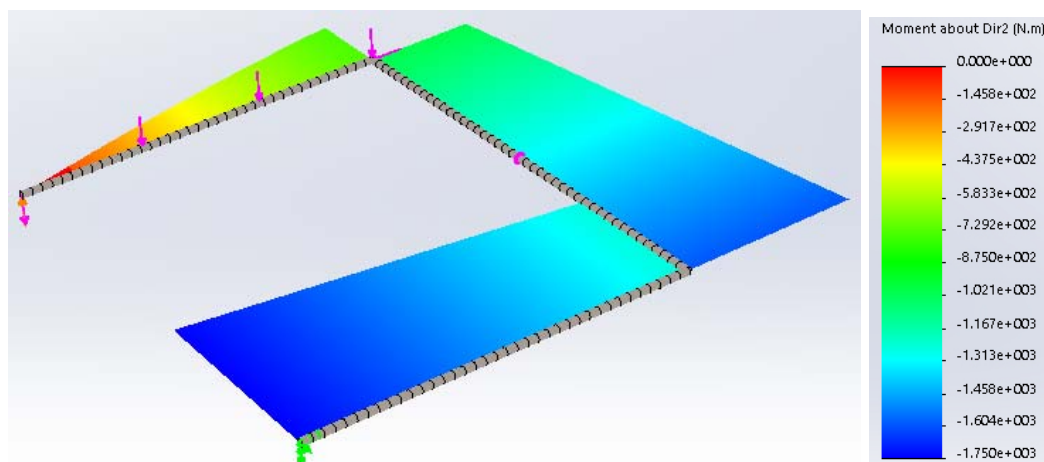


Рис. 4.81

Аналогічним чином будуюмо епюру крутних моментів, вибираючи *Torque* *Вращающий момент* (рис. 4.82). Зберігаймо модель з розрахунками.

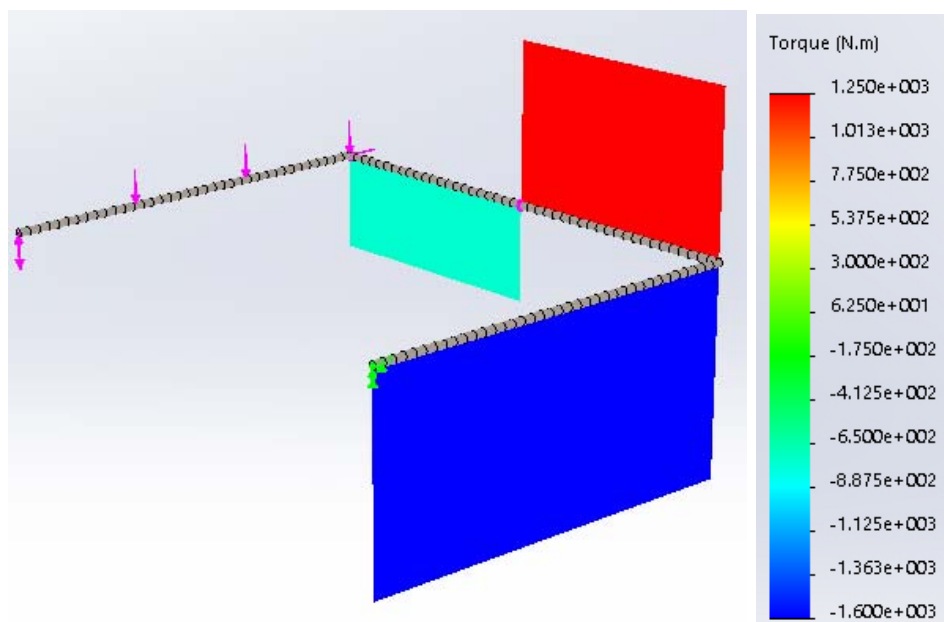


Рис. 4.82

4.4. Розрахунок кругового стрижня

Дано: круговий стрижень, переріз якого — коло з радіусом $r = 0,4$ м; матеріал — сталь з модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па (рис. 4.83).

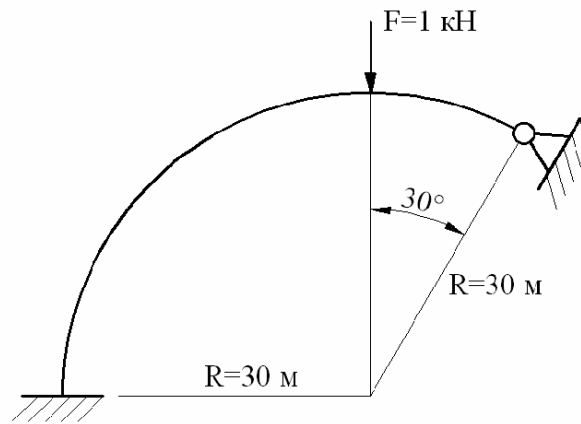


Рис. 4.83

Завдання: побудувати епюри поперечних сил, нормальних сил і згинальних моментів, порівняти з аналітичними результатами (рис. 4.84).

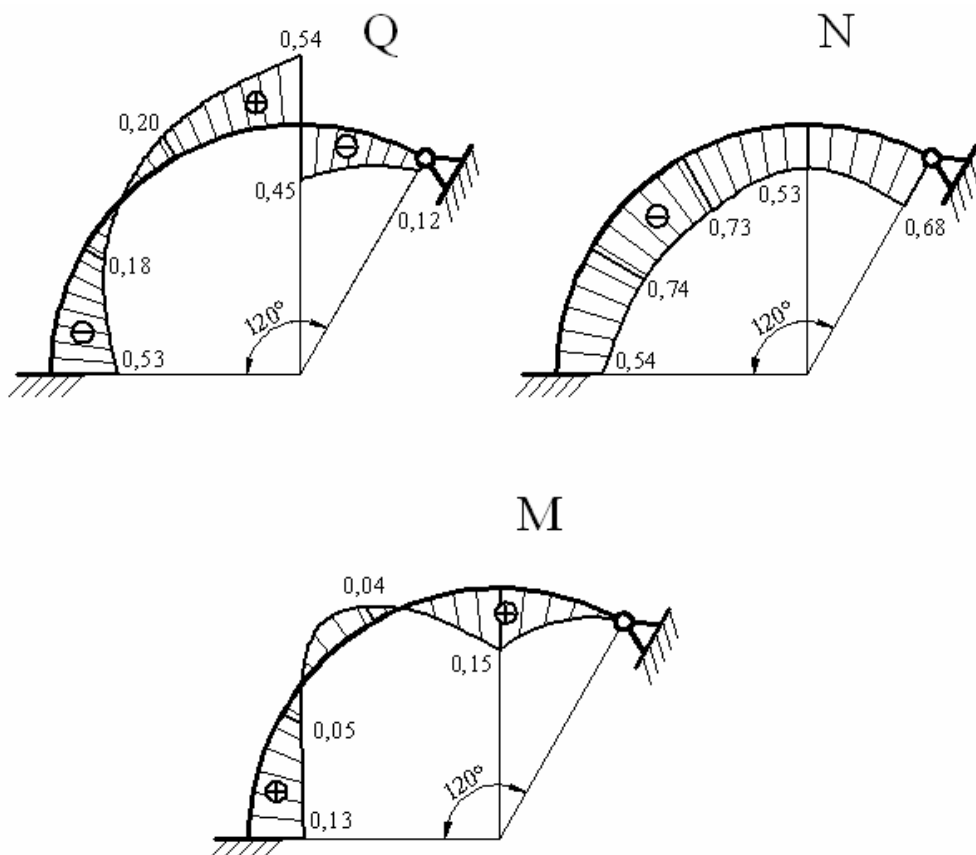


Рис. 4.84

На початку створюємо модель кругового стержня. Для цього скористаємося командою **Бобышка/основания по траектории** на панелі інструментів **Элементы**.

На площині *Спереди (Front)* малюємо ескіз кругового стержня, як показано на рис. 4.85. Особливу увагу слід звернути на місцезнаходження початку координат, воно збігається з початком дуги. Це робиться для зручності подальшої побудови ескізу поперечного перерізу. Виходимо з ескізу.

Далі на площині *Сверху (Top)* створюємо ескіз перерізу кругового стержня, як зображено на рис. 4.86.

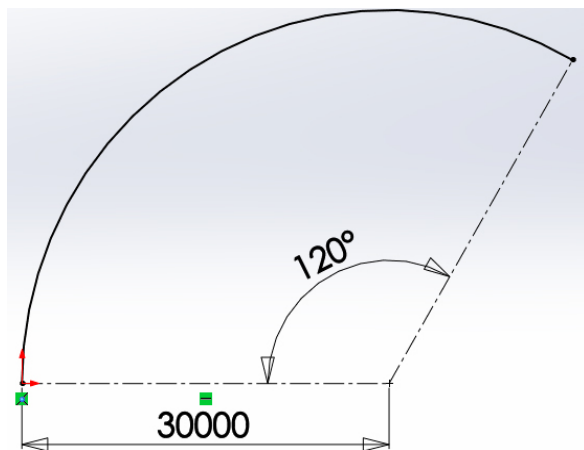


Рис. 4.85

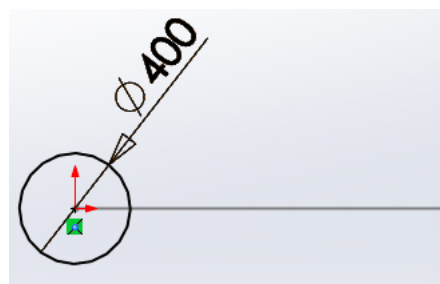


Рис. 4.86

Використовуючи команду **Бобьшка/основания по траектории**, створюємо модель криволінійної балки (рис. 4.87).



Рис. 4.87

Наступний крок — розділимо круговий стрижень на частини, щоб далі можна було прикласти навантаження. Для цього спочатку створимо допоміжну площину (рис. 4.88). *Площина1* створюємо на відстані 30 м (30000 мм) від площини *Справа (Right)*.

Для поділу системи на частини використовуємо команду **Разделить**, панелі інструментів **Элементы** або меню **Вставка > Элементы > Разделить**.

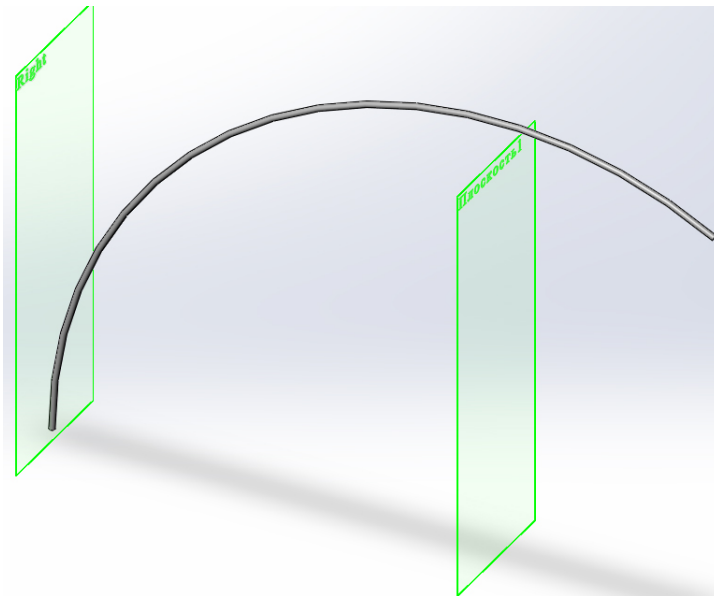


Рис. 4.88





Якщо ця команда відсутня на панелі інструментів **Элементы**, то її можна додати через меню **Инструменты > Настройка > закладка Панели меню** та зі списку, що випадає, обираємо **Элементы** та перетягуємо кнопку  **Разделить** на потрібну вкладку. Перевіряємо, щоб пункт *Абсорбировать вырезанные тела* був не активним. Модель стрижня готова (рис. 4.89). Площини можна зробити невидимими, щоб вони не заважали подальшому розрахунку.



Рис. 4.89

Зберігаємо готову модель під ім'ям **Завдання_4.4**.

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks > SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'являється нова вкладка **Simulation**.

Вкладка **Simulation** > **Консультант Исследования** >  **Новое исследование** (рис.4.90). У вікні *Study* (*Исследование*) вибираємо тип дослідження —  **Static** (Статическое) (рис. 4.91). Натискаємо .

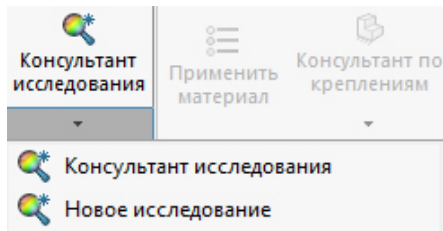


Рис. 4.90

З'являється Дерево дослідження (рис. 4.92).

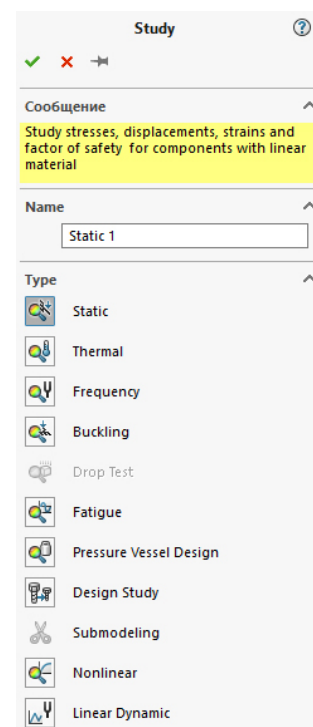


Рис. 4.91

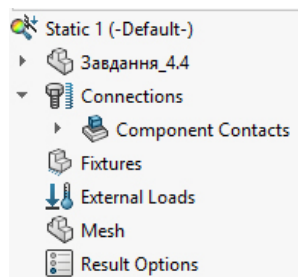


Рис. 4.92

Якщо розгорнути закладку *Завдання_4.4* (рис. 4.93), то видно, що всі елементи визначаються програмою, як тверді тіла. Виділимо їх в **Дереві дослідження** ЛКМ, утримуючи клавішу **Shift**. Далі, натискаємо по виділених компонентах ПКМ і в контекстному меню виберемо пункт **Treat selected bodies as beams** (Рассматривать все тела, как балки).

Далі обчислимо з'єднання (рис. 4.94). Для цього натискаємо ПКМ на пункті *Joint group* (*Группа соединений*) і вибираємо *Edit* (*Редактировать*).

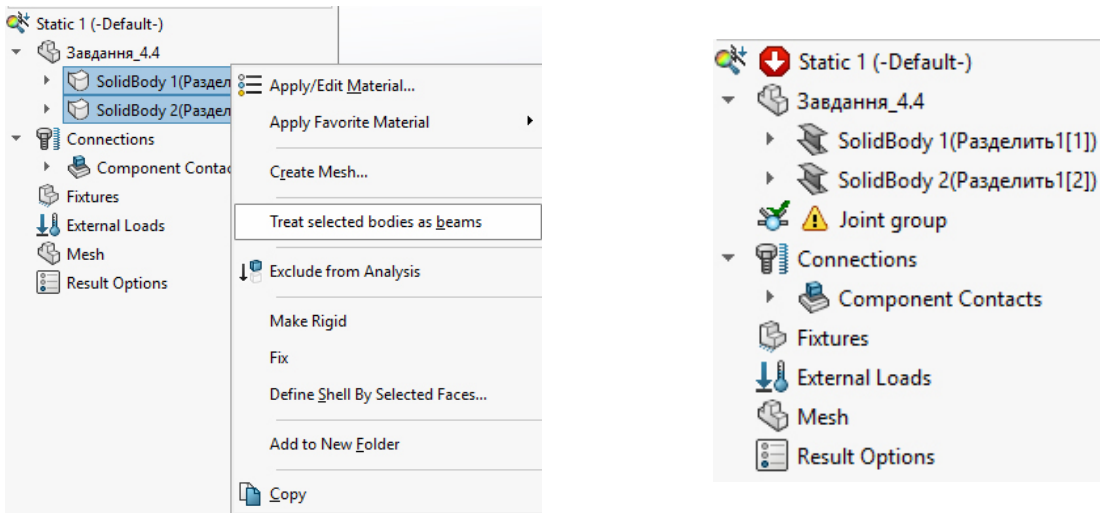


Рис. 4.93

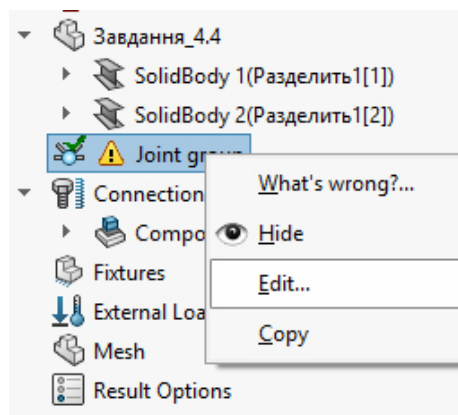



Рис. 4.94

В открывшемся окне *Edit Joints* (Редактировать соединения) нажимаем **Calculate** (Вычислить). Натискаємо  (рис. 4.95).

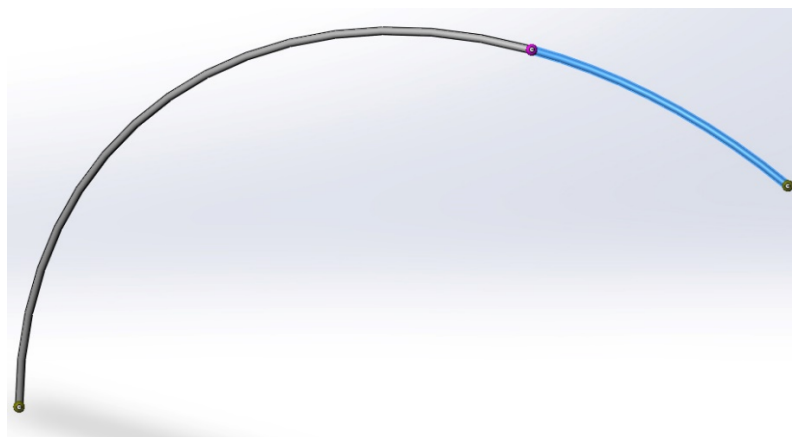
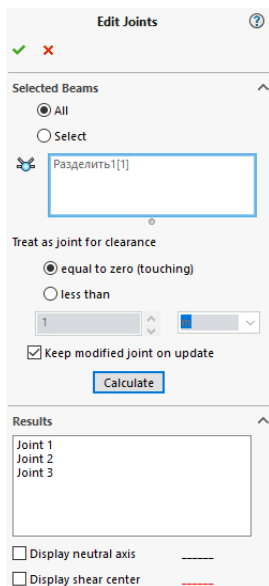


Рис. 4.95

Наступний крок — призначення матеріалу елементам системи. Для присвоєння матеріалу в Дереве дослідження натискаємо ПКМ на закладці **Завдання_4.4** і вибираємо **Применить материал ко всем телам...** Відкриється вікно *Материал*, де вибираємо **solidworks materials** (рис. 4.96). Далі з бібліотеки матеріалів вибираємо сталь **AISI 1010 Сталь, горячекатаная полоса** (модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, що відповідає умові завдання). **Применить > Заккрыть**.

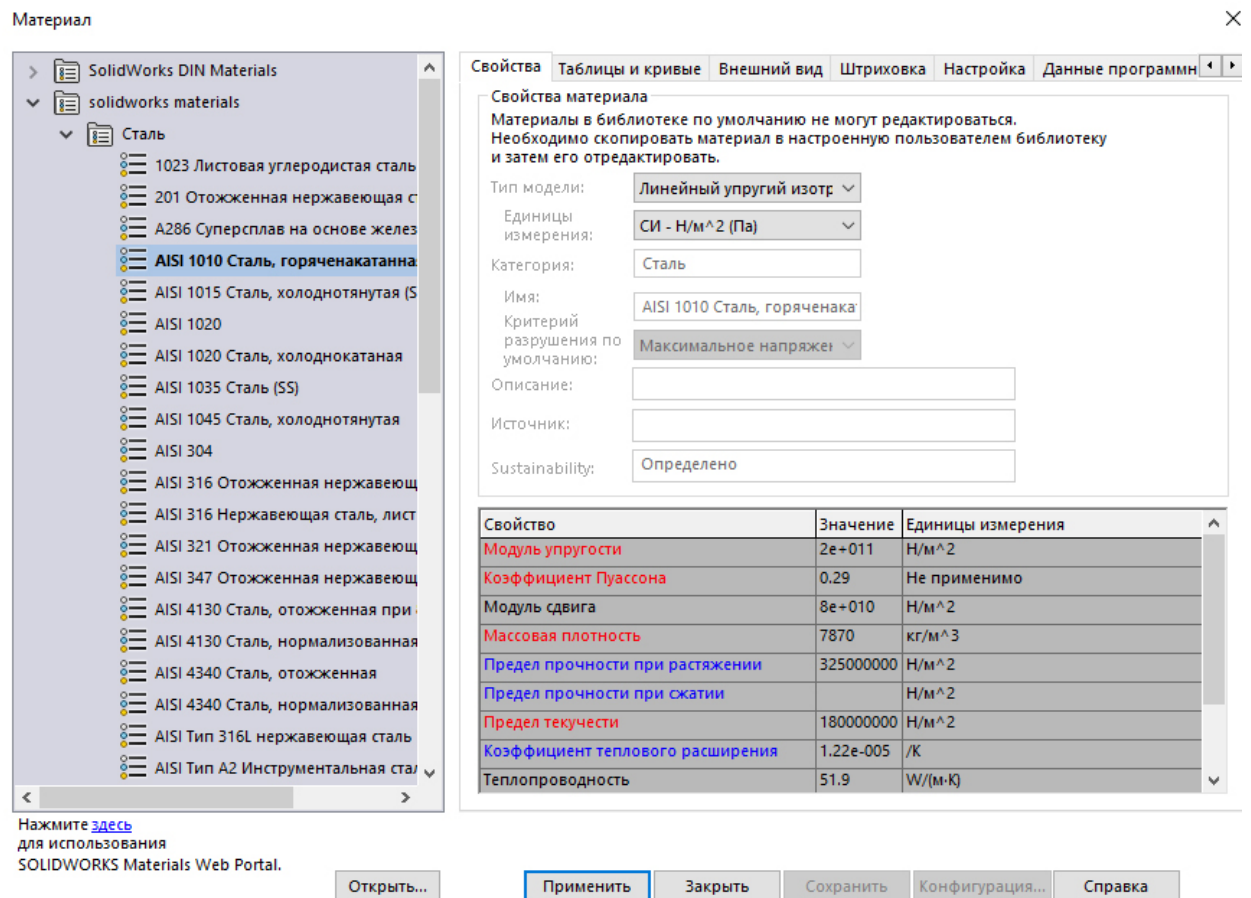


Рис. 4.96

Далі призначаємо кріплення. Назначимо жорстке закріплення. Для цього, як показано на рис. 4.97, натискаємо ПКМ на пункті *Fixtures* (Крепления) и обираємо *Fixed Geometry* (Зафиксированная геометрия). Відкривається вікно *Fixture Крепление*, в графічній області обираємо зв'язок 3, але треба враховувати що нумерація зв'язків може відрізнятися (рис. 4.98). Натискаємо

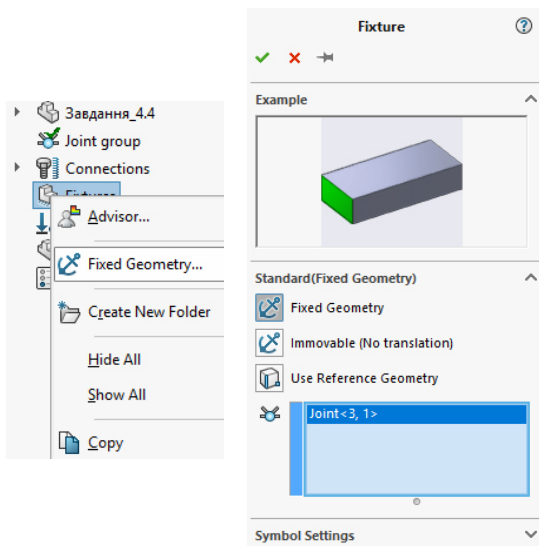


Рис. 4.97

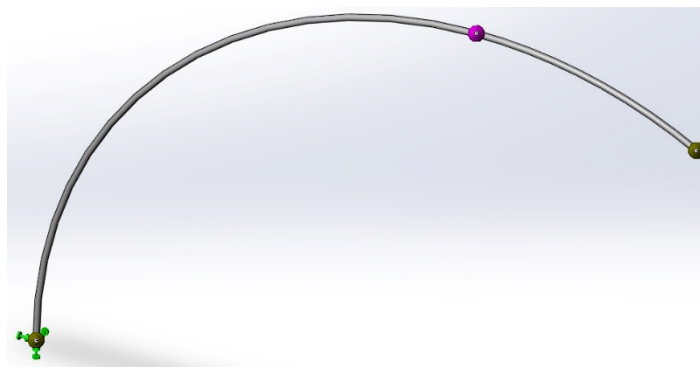



Рис. 4.98

Шарнірно-нерухома опора призначається аналогічно жорсткому закріпленню, з тією лише різницею, що в вікні *Крепление* замість кнопки *Зафиксированная геометрия* натискаємо кнопку *Immovable (No translation)* *Неподвижная (нет перемещений)* і вибираємо зв'язок 2 в графічній області (рис. 4.99). Натискаємо .

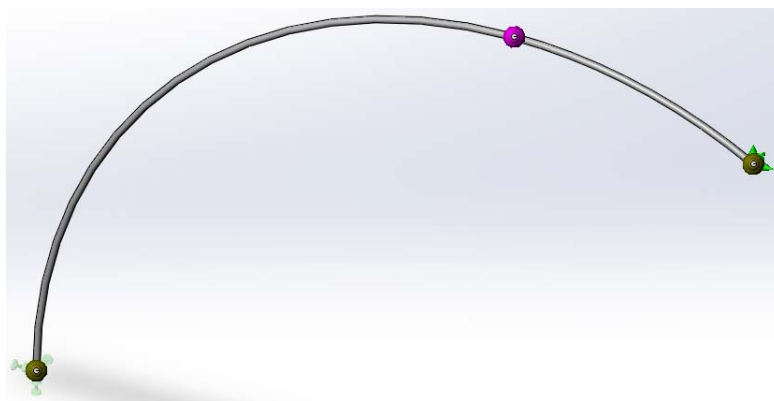
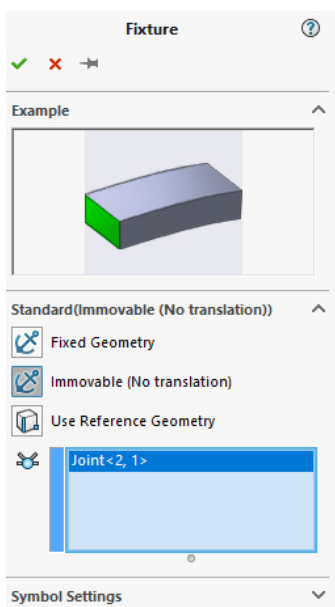


Рис. 4.99

Наступний крок — призначення навантажень.

Прикладення сили — ПКМ натискаємо на пункті *Внешние нагрузки* (рис. 4.100) і далі — *Force (Сила)*.

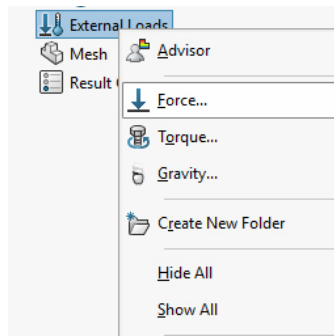






Рис. 4.100

Відкривається вікно *Force/Torque (Сила/вращающий момент)*, в якому виконуємо наступні дії:

– в закладці *Selection (Выбор)* обираємо *Соединения* , і в графічній області вибираємо з'єднання **5,1**, до якого прикладена сила;

– в якості  *Грань, Кромка, Плоскость, Оси* для напрямлення вибираємо площиність *Сверху (Top)* (рис. 4.101);

– в полі *Force (Сила)* вибираємо  *Normal to plane (Перпендикулярно плоскости)* і вводим значення сили — 1000 Н. Відмічаємо **Реверс напрямлення**. Натискаємо .

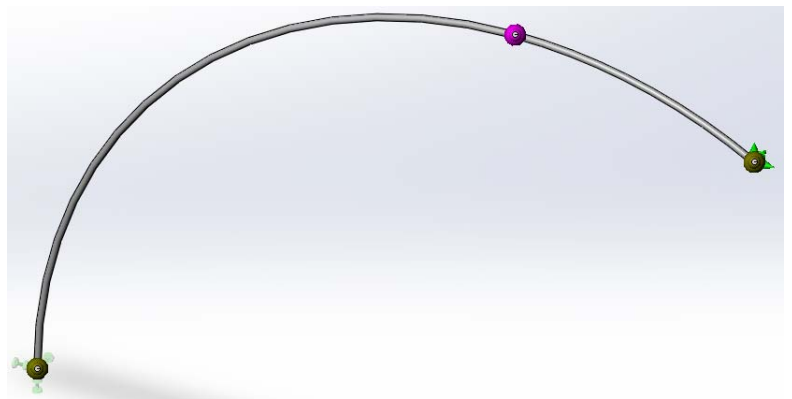
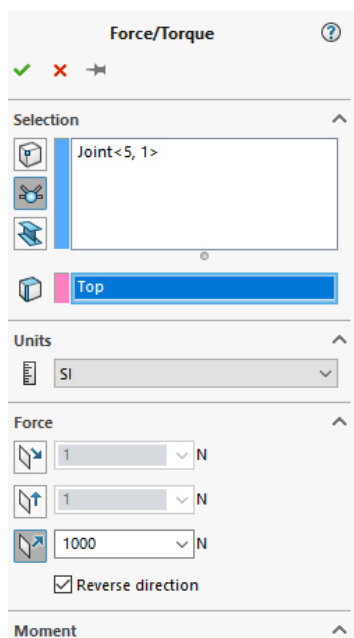


Рис. 4.101

Розрахункова схема готова, приступаємо до розрахунку — натискаємо ПКМ по назві дослідження в *Дереві дослідження* і вибираємо **Run** **Выполнить**.

Програма автоматично будує сітку і виконує розрахунок. За замовчуванням обчислюються максимальні напруження (рис. 4.102) та максимальні переміщення (рис. 4.103).

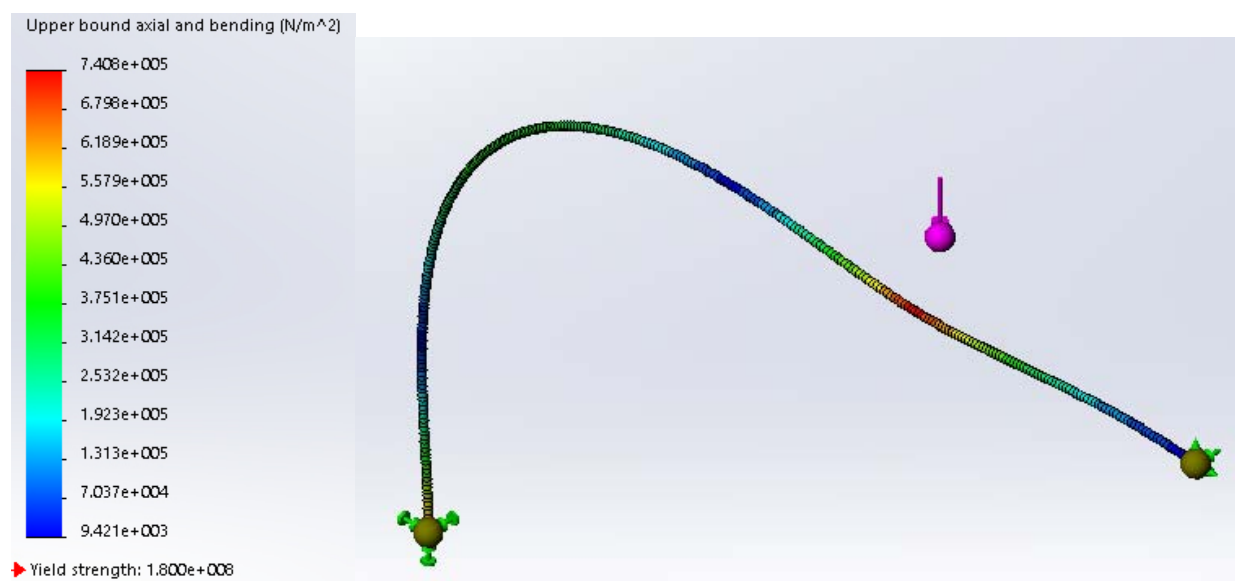


Рис. 4.102

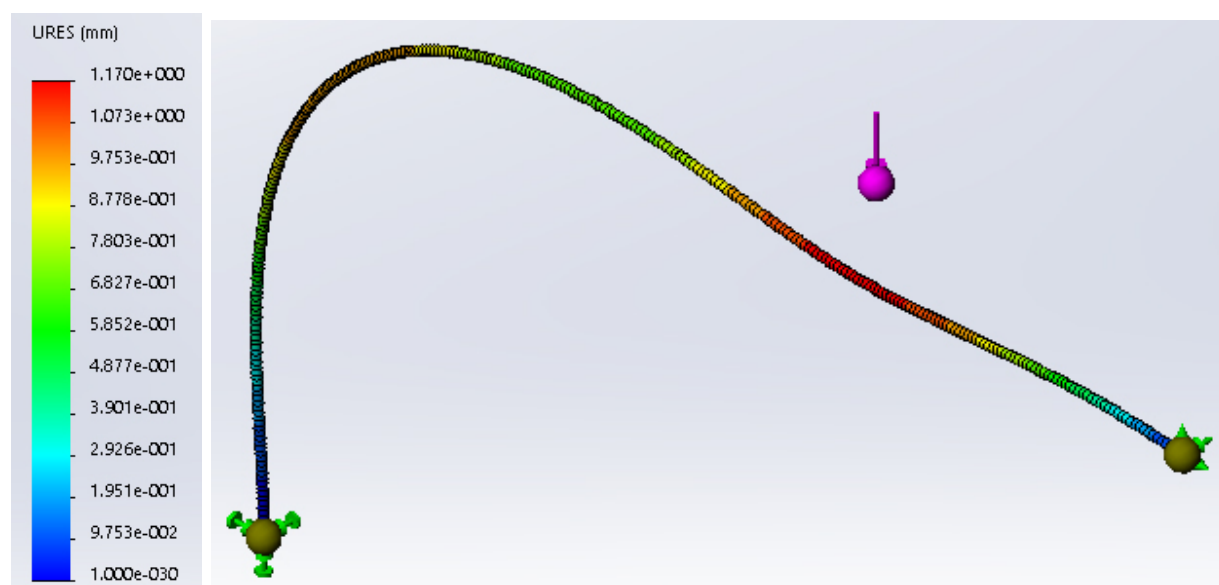





Рис. 4.103

Нас цікавлять, перш за все, епюри поперечних і нормальних сил, а також епюра згинальних моментів. Для їх побудови проводимо наступні дії: ПКМ натискаємо на закладці **Результати** і вибираємо **Определить диаграмму балки**. У вікні *Диаграмма балки* и в закладці *Отображение* в якості *Компонента*  вибираємо *Сила сдвига в Направлении 1*. Натискаємо . Для зручності перегляду, виберемо команду *Спереди*  панелі інструментів *Стандартные виды*.

Епюра поперечних сил має наступний вигляд (рис. 4.104):

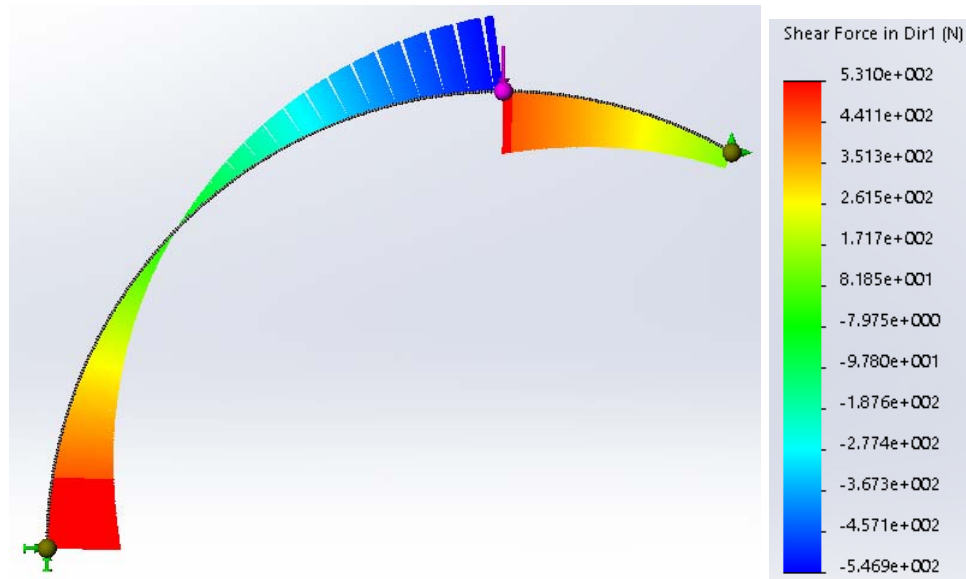


Рис. 4.104

Аналогічним чином будемо епюру нормальних сил, вибираючи **Осевое усилие** (рис. 4.105).

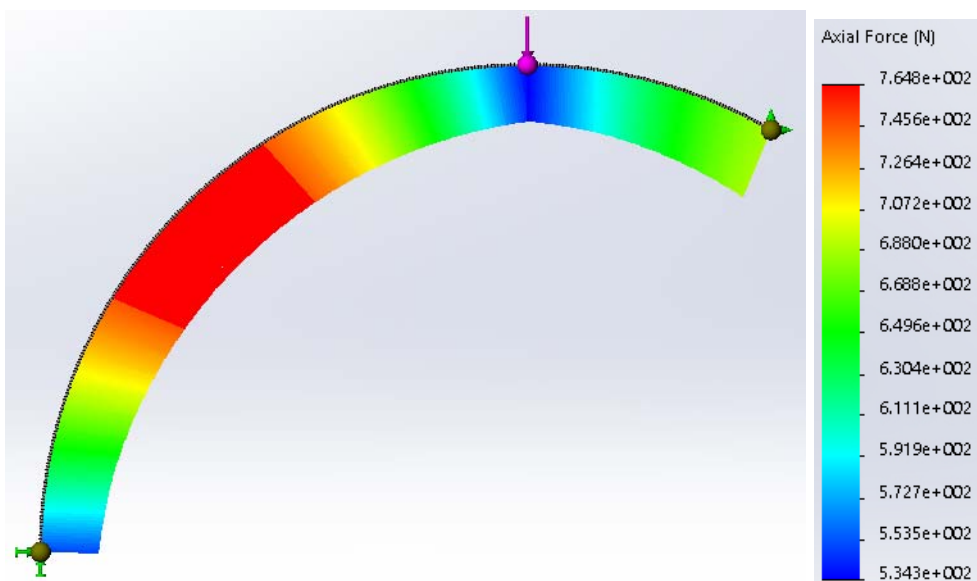



Рис.4.105

Таким же чином, вибравши *Момент в направлении 2*, будемо епюру згинальних моментів (рис. 4.106). Для її коректного відображення виберемо площіть **Сверху** .

Зберігаємо модель з розрахунками під ім'ям **Завдання_4.4**.

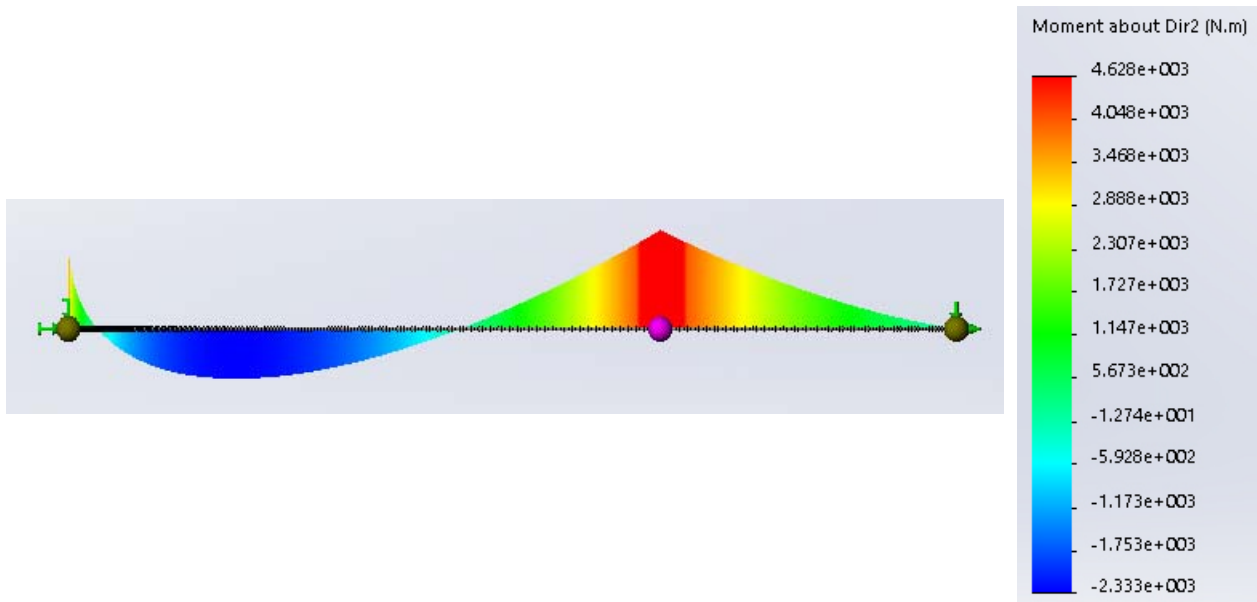


Рис. 4.106

4.5. Плоске завдання теорії пружності

Дано: квадратна пластина ($h = l = 1,6 \text{ м}$) завантажена на середній ділянці однієї із сторін розподіленим навантаженням $q = 100 \text{ кН/м}$; товщина пластини $t = 10 \text{ мм}$; матеріал — сталь з модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Граничні умови відповідають рис. 4.107.

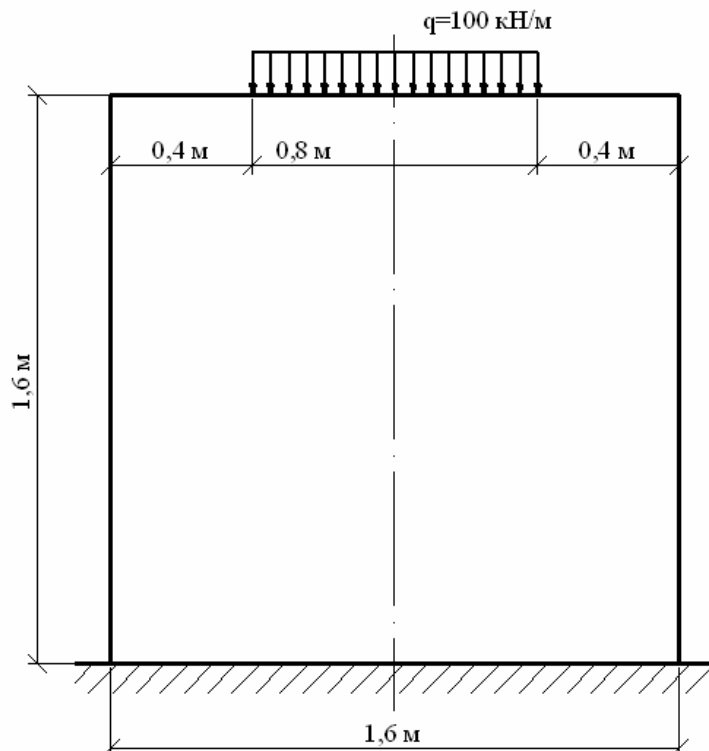


Рис. 4.107

Завдання: визначити величини деформацій і нормальних напружень, що виникають в пластині під впливом прикладеного розподіленого навантаження. Порівняти отримані результати з теоретичними (рис. 4.108).

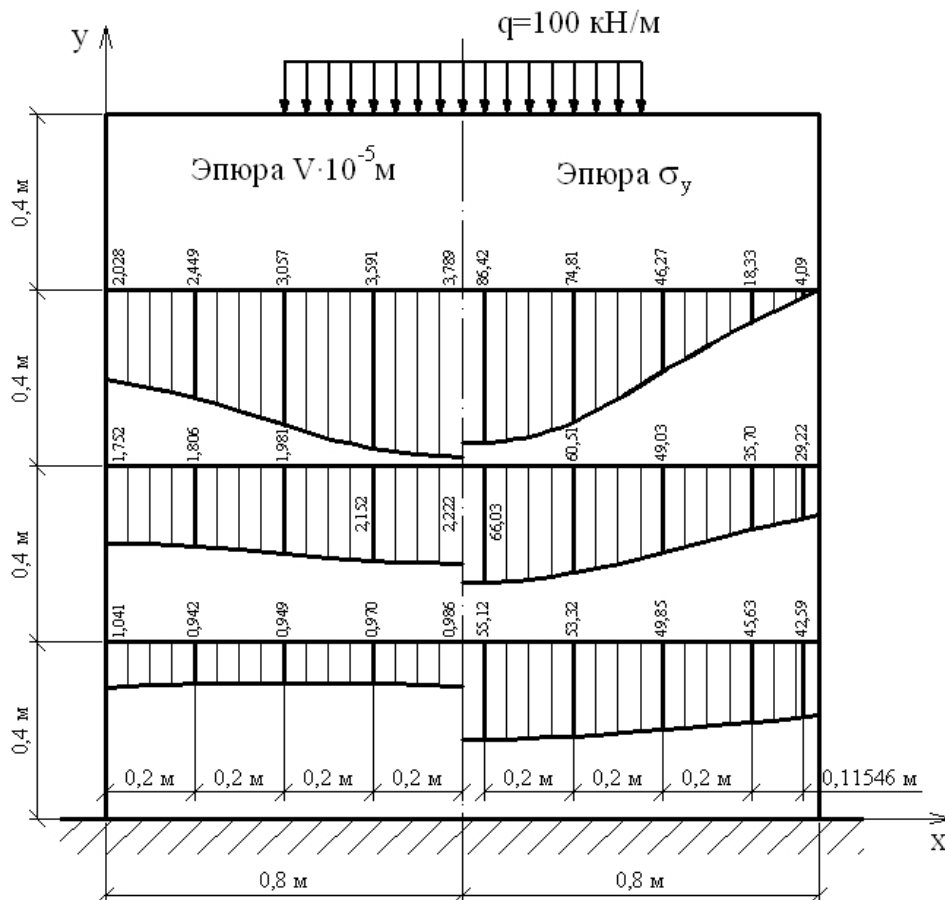


Рис. 4.108

Порядок виконання завдання: спочатку на площині *Спереди (Front)* будуємо ескіз (рис. 4.109).

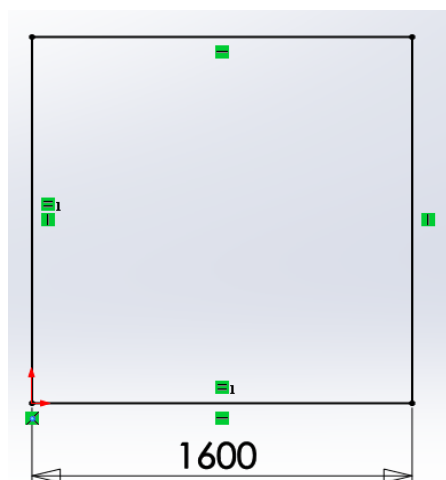





Рис. 4.109

Тепер необхідно перетворити побудований ескіз в фігуру, яка буде сприйматися програмою, як пластина. SolidWorks Simulation може при

розрахунку сприймати як пластини деталі з листового металу, або деталі, побудовані за допомогою команди  **Плоская поверхность** вкладки **Поверхности**. Другий спосіб краще, оскільки він дозволяє розраховувати потовщені пластини (вони піддаються розрахунку по так званій «моментній» теорії, на відміну від тонкостінних пластин/оболонки, розрахунок яких відбувається по «безмоментній» теорії). При використанні другого методу пластини і оболонки будуються з «нульовою товщиною»; її потім слід вказати у властивостях деталі в *Дереві дослідження* при виконанні розрахунку, зазначивши там же і тип — **Утолщенная/тонкостенная**. Тому вибираємо команду  **Плоская поверхность** на вкладці **Поверхности**. Відкривається вікно *Плоская поверхность* (рис. 4.110). Далі вибираємо створений ескіз. Натискаємо . SolidWorks створює пластину/поверхню з «нульовою товщиною»(рис. 4.111).

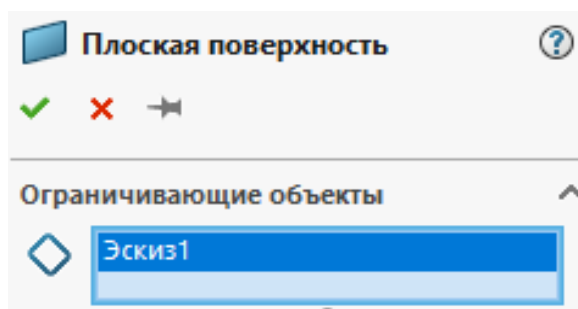



Рис. 4.110



Рис. 4.111

Далі завершимо підготовку моделі пластини до розрахунку. Слід забезпечити можливість провести зондування (читання) результатів розрахунку в вузлах, які нас цікавлять, після того як програма побудує епюри. Для цього буде потрібна команда **Линия разъема** , яка знаходиться на вкладці **Поверхности** чи меню **Вставка > Кривая > Линия разъема**. З її допомогою пластина буде розділена на секції, що відповідають рис. 4.108. Тоді можна буде прозондувати точки, в яких напруження і переміщення були знайдені теоретично. Також це дозволить докласти рівномірно розподілене навантаження не до всієї верхньої кромки, а як показано на рис. 4.107.

В якості ліній для розділення використовують ескізи. Ескіз бере участь в розподілі цілком і не може мати більше одного замкнутого контуру. На початку розділимо пластину на дві рівні частини. Для цього побудуємо ескіз, як показано на рис. 4.112.

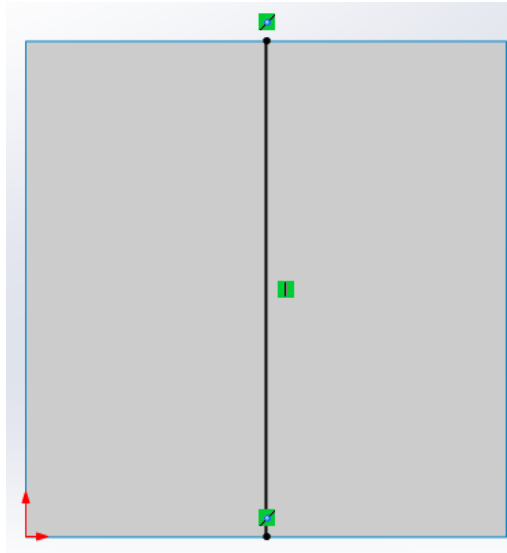


Рис. 4.112

Далі вкладка **Поверхности** > **Кривые** > **Линия разъема**. Відкривається вікно *Разделяющая линия*, в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Тип разделения* вибираємо *Проекция*;
- активуємо в закладці *Выбранные объекты* поле *Проекция эскиза* та обираємо створений ескіз;
- активувавши поле *Разделить грани*, вибираємо пластину (рис. 4.113).

Натискаємо . Плоскість буде розділена на дві частини .

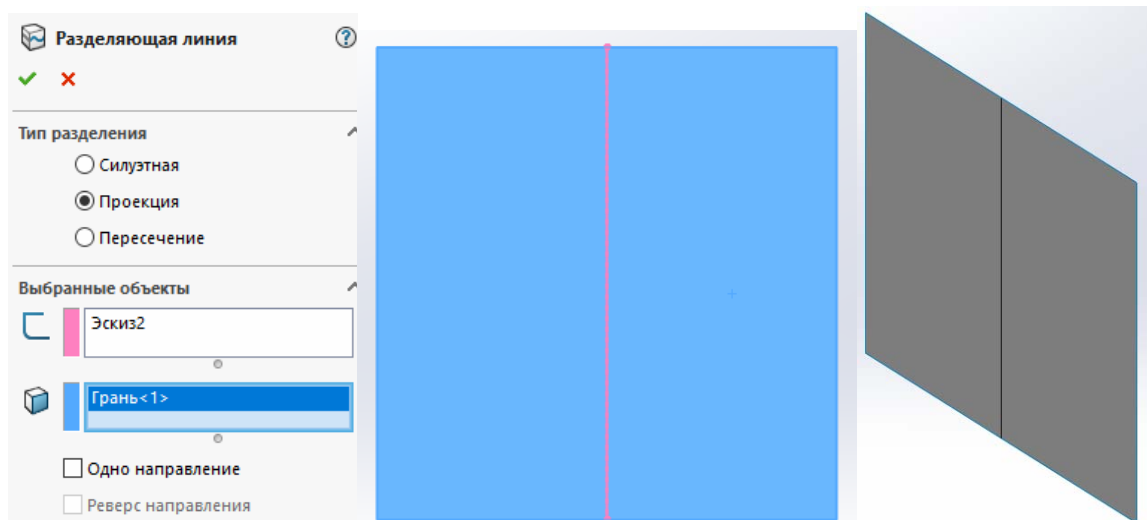




Рис. 4.113

Для подальшого поділу чинимо аналогічно, за винятком того, що замість команди **Линия**  використовуємо команду **Прямоугольник** . При цьому необхідно уважно стежити за прив'язками — кути прямокутника розташовуються по центру подільних об'єктів (рис. 4.114).

В результаті декількох аналогічних поділів ми повинні отримати розділену пластину, як показано на рис. 4.115.

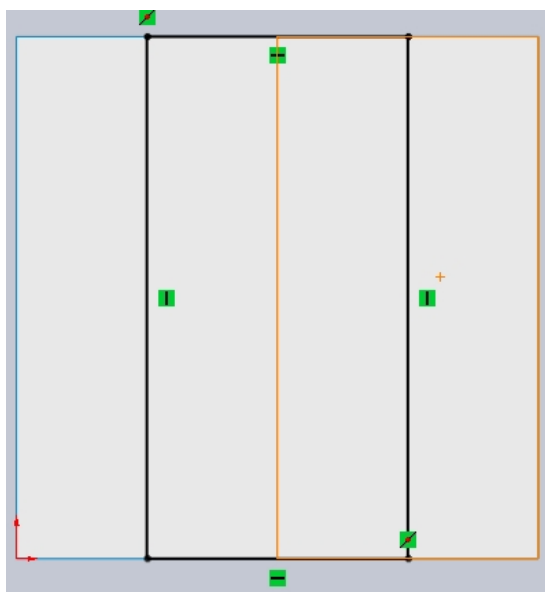


Рис. 4.114

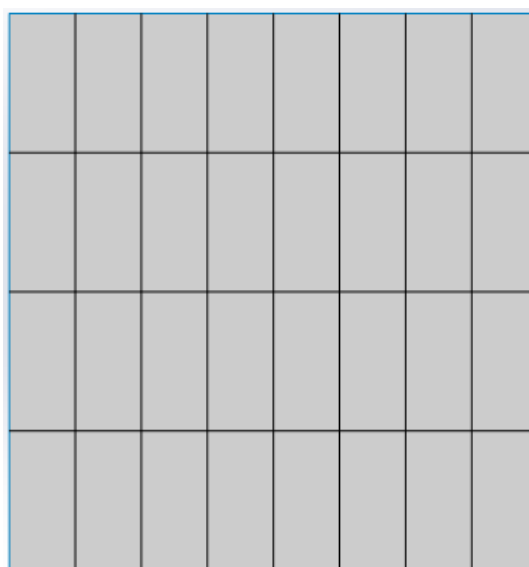





Рис. 4.115

Висота кожної секції, на які розділена пластина, 400 мм, а ширина — 200 мм. Це буде враховуватися при завданні величин елементів сітки.

Зберігаємо файл під ім'ям **Пластина**.

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks > SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'являється нова вкладка **Simulation**

Вкладка **Simulation > Консультант Исследования >  Новое исследование** (рис. 4.116). У вікні *Study (Исследование)* вибираємо тип дослідження —  **Static** (Статическое) (рис. 4.117). Натискаємо .

З'являється **Дерево исследования** (рис. 4.118). Звернемо увагу, що другий рядок в Дереві дослідження іменується як **пластина (-Товщина: чи не определена -)**. Як говорилося раніше, поверхні мають «нульову товщину». Для призначення потрібної нам товщини натискаємо ПКМ на цьому рядку і вибираємо **Редактировать определение** (рис. 4.119).

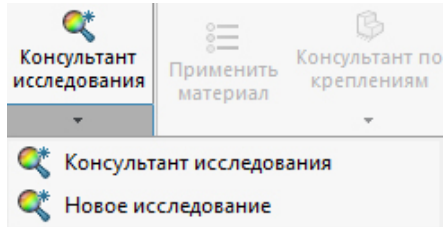


Рис. 4.116

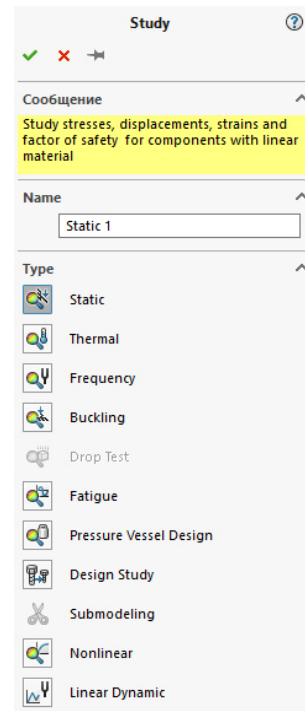


Рис. 4.117

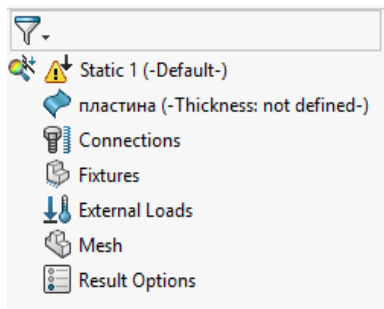


Рис. 4.118

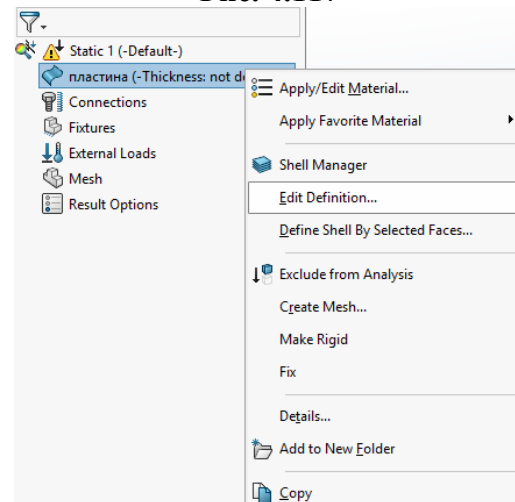



Рис. 4.119

Відкривається вікно *Определение оболочки (Shell Definition)*, в якому вибираємо пункт **Тонкостенный**, а в нижньому полі вводимо товщину — 10 мм (рис. 4.120). Натискаємо .

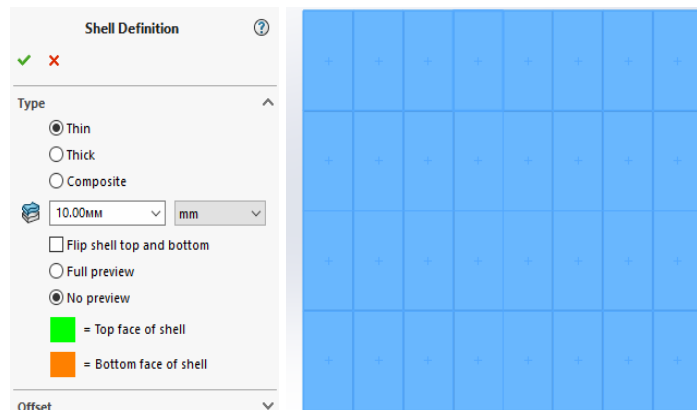


Рис. 4.120

Відзначимо, що після призначення товщини зовнішній вигляд пластини не змінився. Але, тим не менше, при розрахунку SolidWorks Simulation буде враховувати задану товщину 10 мм.

Наступний крок — призначаємо матеріал пластині. Для цього в **Дереже дослідження** натискаємо ПКМ на **пластина** і вибираємо **Применить материал ко всем телам**. Відкривається вікно *Материал* (рис. 4.121), в якому в графі *Библиотечные файлы* вибираємо **solidworks materials** і далі з бібліотеки вибираємо **AISI 1010 Сталь, горячекатаная полосовая** (модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, що відповідає умові завдання). Натискаємо **ОК**.

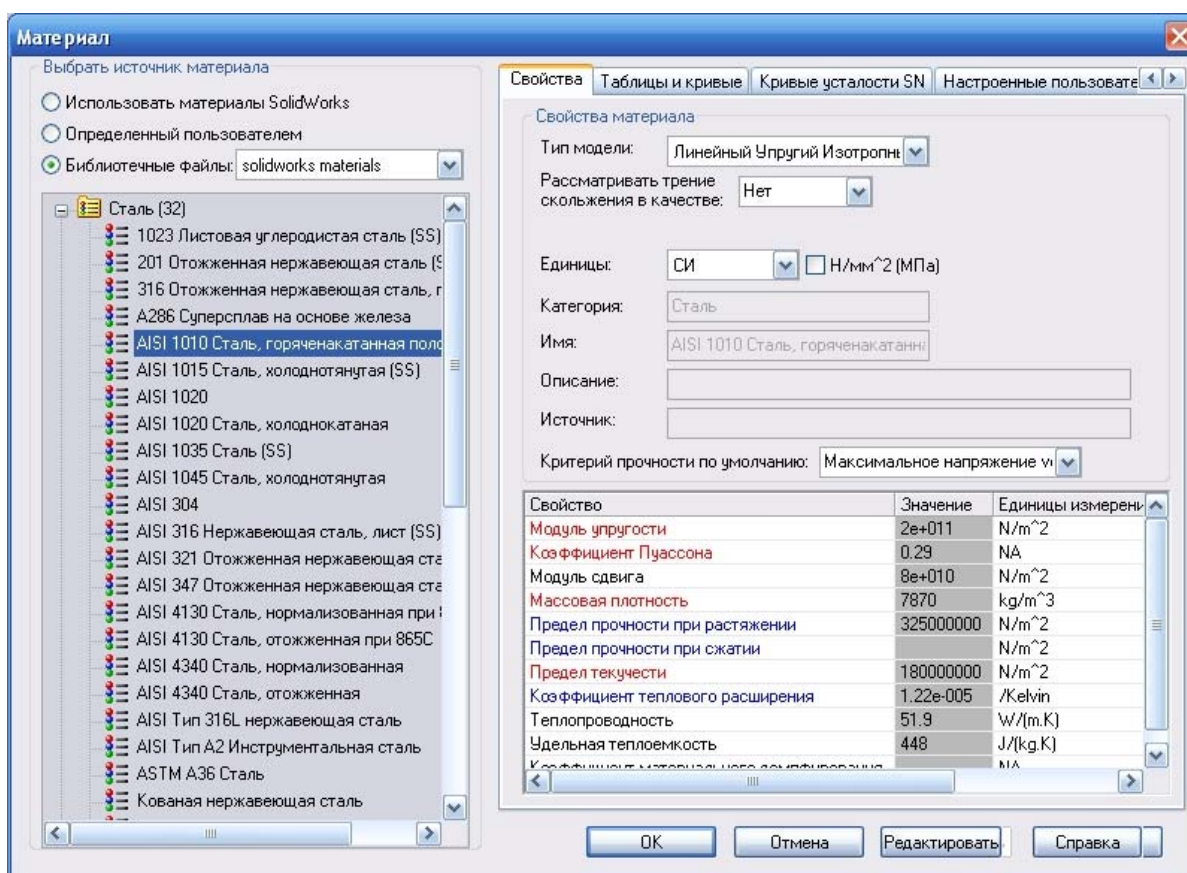



Рис. 4.121

Далі призначаємо кріплення. Назначимо жорстке закріплення по нижньому краю пластини. Для цього, як показано на рис. 4.122, натискаємо ПКМ на пункте *Fixtures (Крепления)* и обираємо *Fixed Geometry (Зафиксированная геометрия)*. Відкривається вікно *Fixture Крепление*, в графічній області обираємо нижні грані секції нижнього ряду (рис. 4.123). Натискаємо .

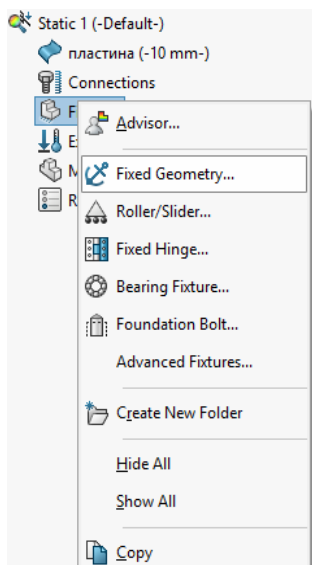


Рис. 4.122

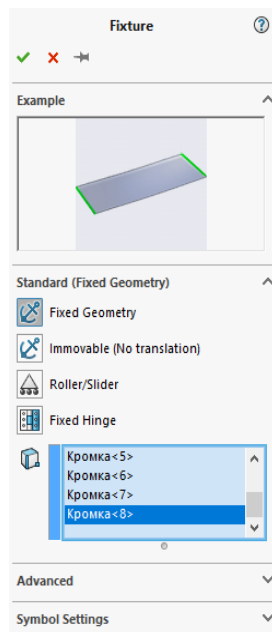
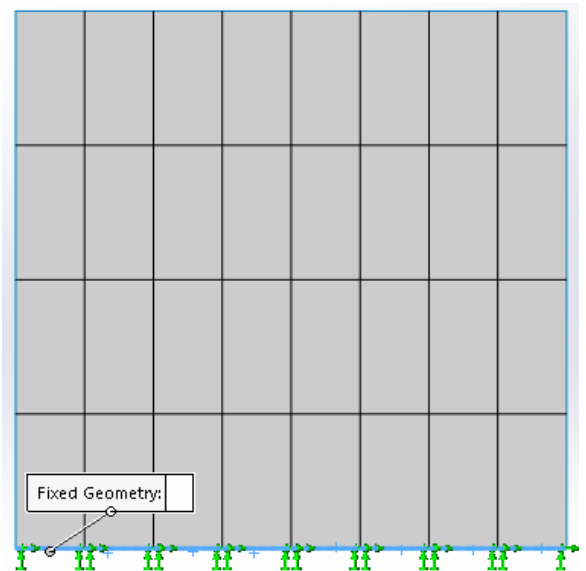


Рис. 4.123





Призначимо навантаження. Так як розподілене навантаження діє на довжині 0,8м (800мм), то його сумарна величина буде, відповідно, 80кН/м, тобто 20кН/м на кожну з чотирьох розташованих біля центру секцій. Це слід врахувати при завданні навантаження — величина, яка вводиться в програмі, розташовується не сумарно, а на кожен з об'єктів.

Тобто, при виділенні чотирьох ділянок при додаванні одного навантаження і внесенні величини навантаження в 20000Н, воно не розподілиться рівномірно (по 5000Н на ділянку), а буде прикладене за принципом «на ділянку — по 20000Н».

Для призначення навантаження ПКМ натискаємо на пункті **Внешние нагрузки** (External Loads) і далі **Сила (Force)**. Відкриється вікно (рис. 4.124) *Force/Torque (Сила/вращающий момент)*, в якому виконуємо наступні дії:

- в якості *Грані і кромки оболонки для нормальної сили* вибираємо чотири верхніх середніх грані (рис. 4.125);
- відмічаємо пункт *Selected direction (Выбранное направление)*.

З'являється рядок **Грань, Кромка, Плоскость, Оси для направления**. В якості напрямлення вибираємо площину *Сверху (Top)*;

– в полі *Force (Сила)* вибираємо  *Normal to plane (Перпендикулярно площині)* і вводимо значення сили — 20000Н. Відмічаємо **Реверс напрямлення**. Натискаємо .

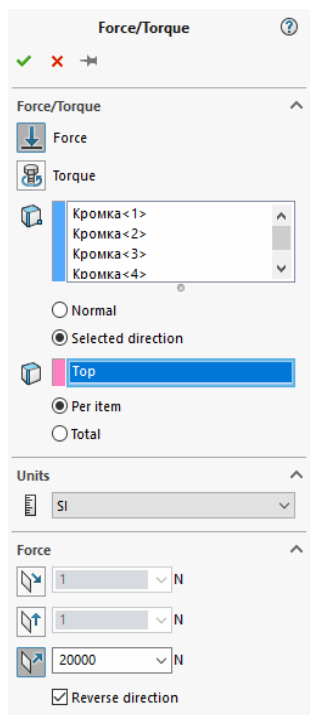


Рис. 4.124

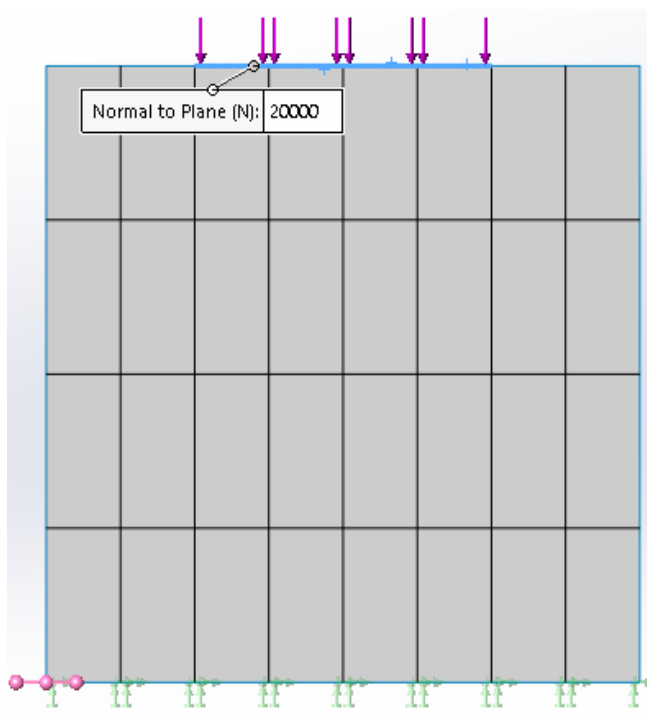




Рис. 4.125

Наступний крок — створення сітки. Для цього натискаємо ПКМ на пункті **Сетка (Mesh)** в **Дереве дослідження**, і далі вибираємо **Создать сетку (Create Mesh)** (рис. 4.126).

Відкривається вікно *Сетка (Mesh)*, в якому виконуємо наступні дії (рис. 4.127):

– вибираємо **Mesh Parameters (Параметры сетки)**, після чого однойменне поле стає активним. В закладці *Параметры сетки* відзначаємо пункт **Стандартная сетка** (при цьому всі елементи будуть створюватися з мінімальною різницею в розмірах);

– в графі  *Глобальный размер* вводимо розмір елемента, до якого буде прагнути програма при створенні сітки — 20 мм. Ця величина обрана тому, що є цілим дільником і для 400 і для 200 — величин висоти і ширини кожної секції, на які ми поділили пластину. Натискаємо .

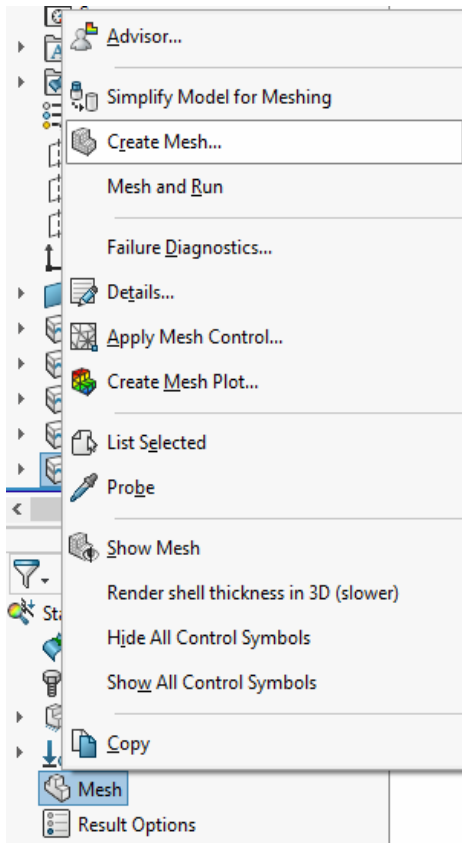


Рис. 4.126

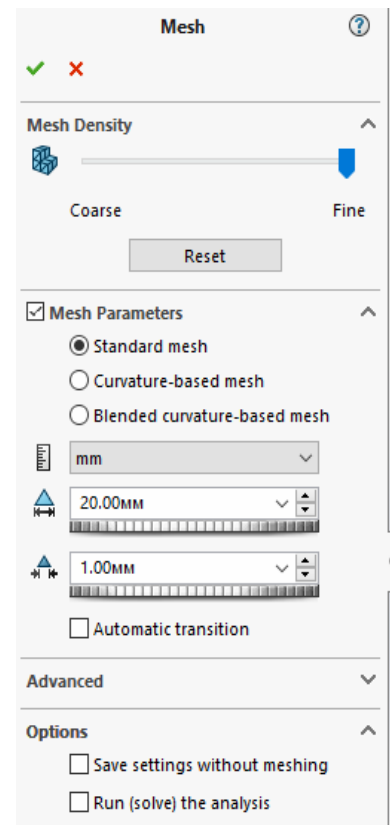


Рис. 4.127

Готова сітка наведена на рис. 4.128.

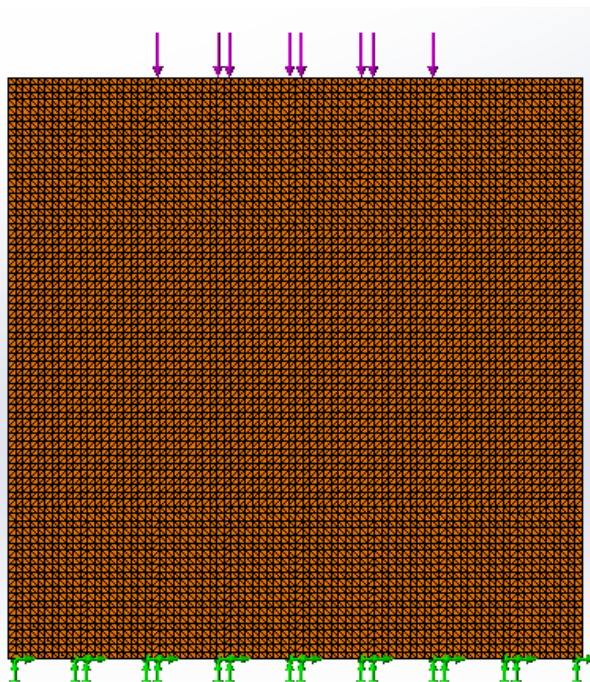


Рис. 4.128

Розрахункова схема готова, приступаємо до розрахунку — натискаємо ПКМ по назві дослідження в *Дереві дослідження* і вибираємо **Run** **Виконати**.

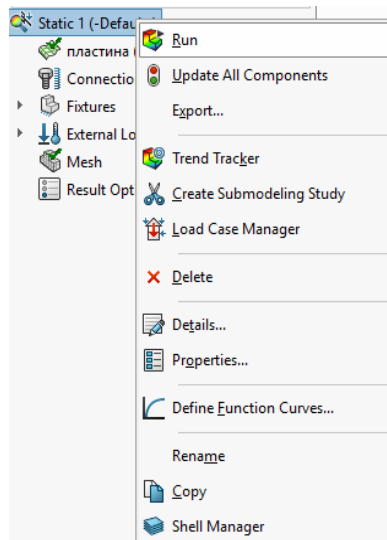


Рис. 4.129

Після виконання розрахунку програма за замовчуванням виводить епюри напружень (рис. 4.130), переміщень і деформацій.

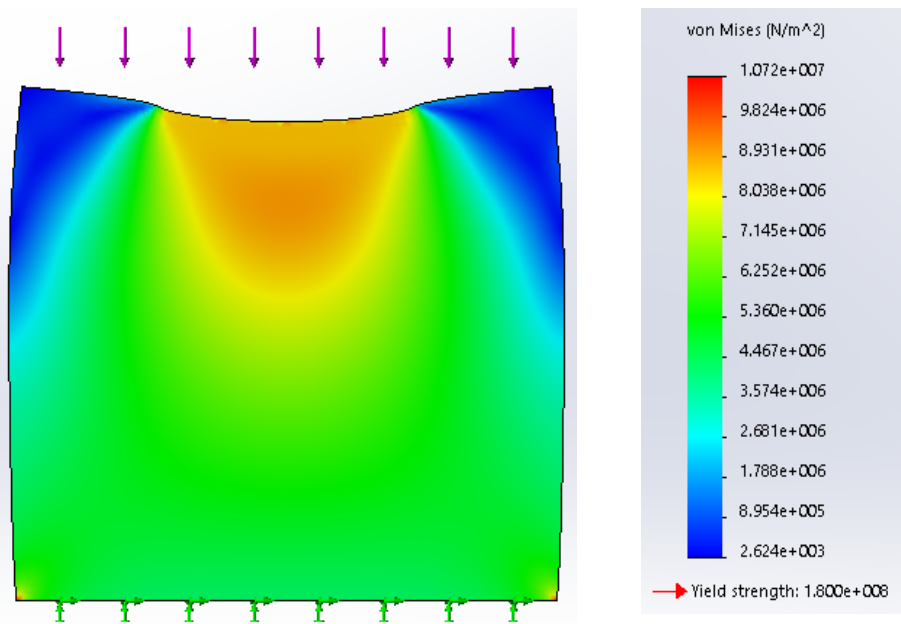


Рис. 4.130

Виведемо епюру напружень σ_y . Для цього натискаємо ПКМ на рядку **Напряжение1** в закладці *Результаты* і вибираємо **Редактировать определение** (рис. 4.131).

У вікні *Эпюра напряжений* в закладці *Display (Отображение)* в рядку *Компонент* вибираємо **SY: Нормальное напряжение Y**, в рядку *Единицы* вибираємо **N/mm² (MPa)** (рис. 4.132).

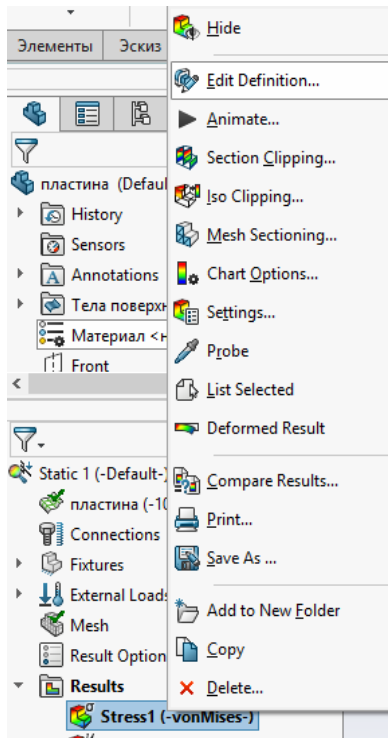


Рис. 4.131

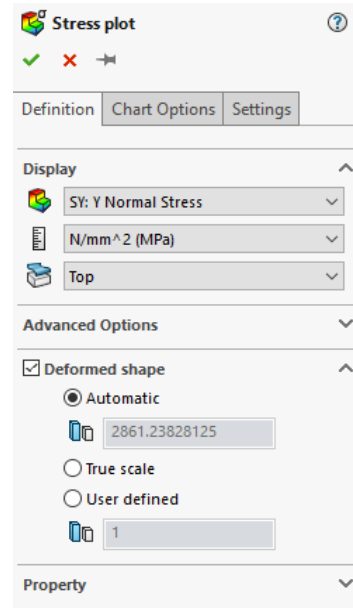


Рис. 4.132

Отримана епюра буде мати наступний вигляд (рис. 4.133).

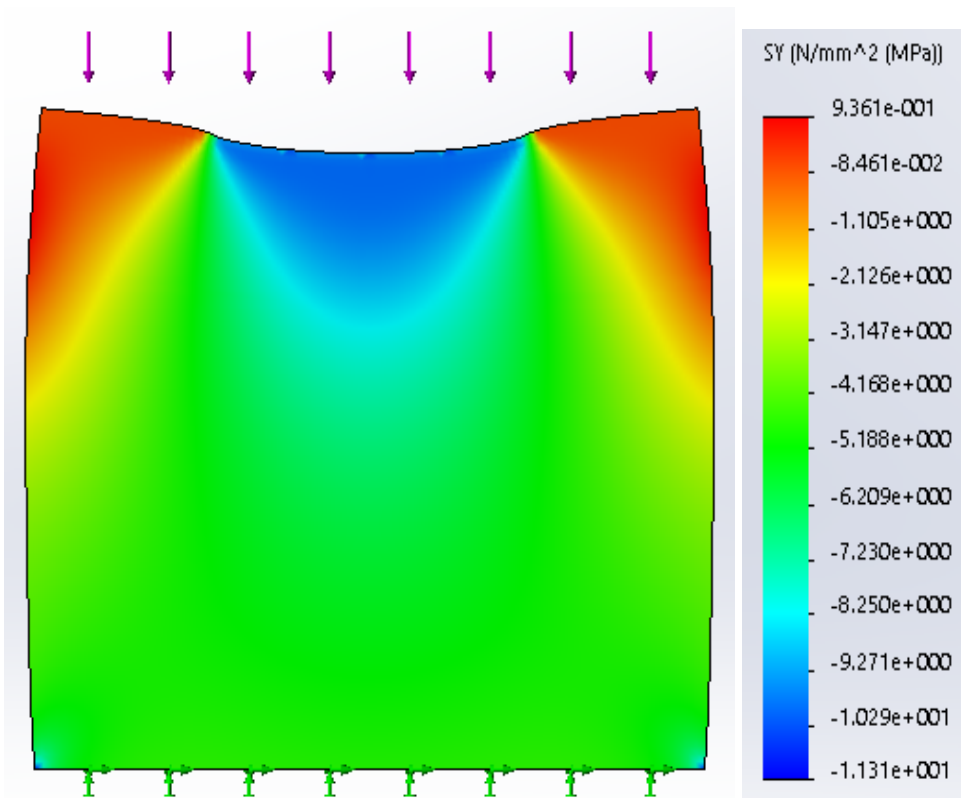



Рис. 4.133

Як видно з рисунка, значення напружень відображаються з трьома знаками після коми. Щоб змінити відображення значень, двічі клацаємо ЛКМ на рамці «легенди». Відкривається вікно *Параметри графика* (рис. 4.134), в

якому в закладці *Положение/формат* в рядку *Количество десятичных*, встановлюємо 5: Натискаємо . Епюра з легендою матимуть наступний вигляд (рис. 4.135).

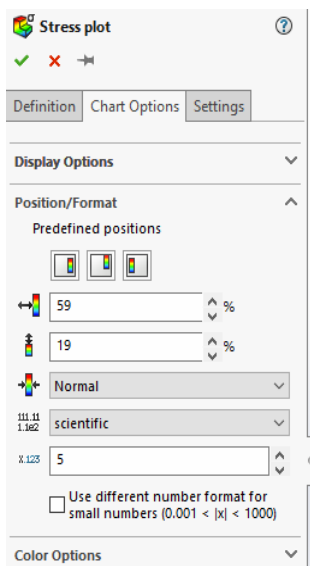


Рис. 4.134

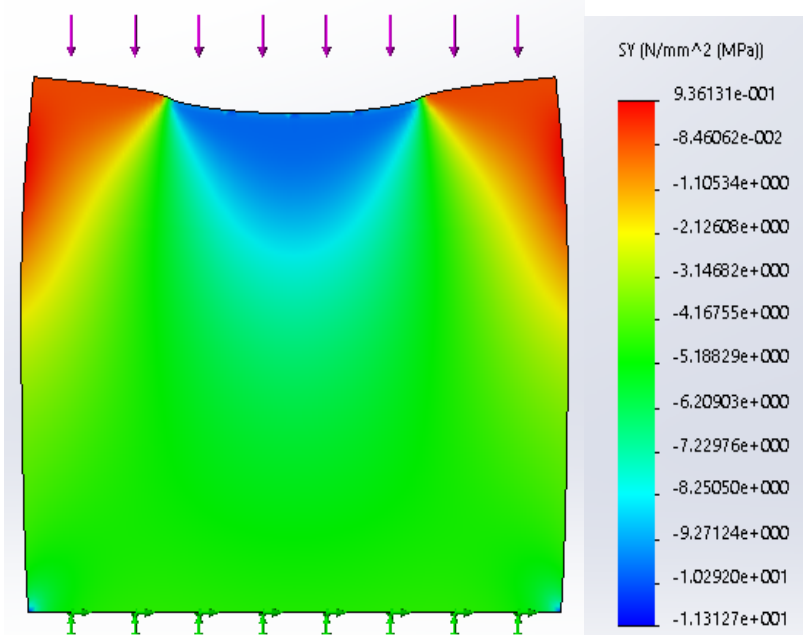



Рис. 4.135

Тепер проведемо зондування епюри напружень σ_Y . Для цього натискаємо ПКМ на пункті **Напряжение1 (-Нормаль Y-)** і вибираємо  **Зондирование (Probe)**(рис. 4.136).

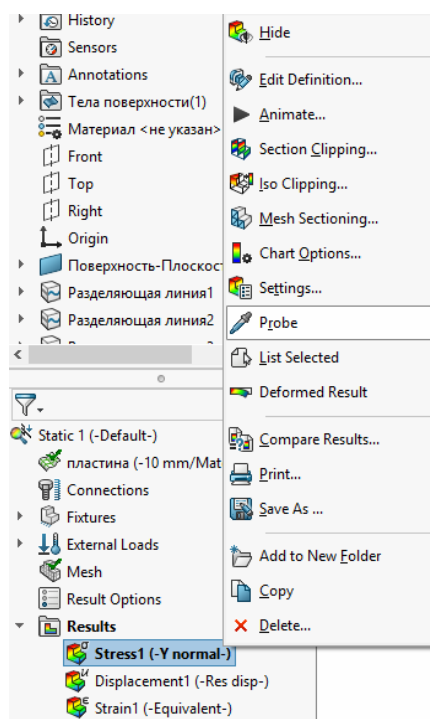


Рис. 4.136

Відкривається вікно **Результат зондирования**. У графічній області вибираємо вузлові точки пластини (рис. 4.137). При виборі кожної нової точки, значення напруження в цій точці додається в вікно результати.

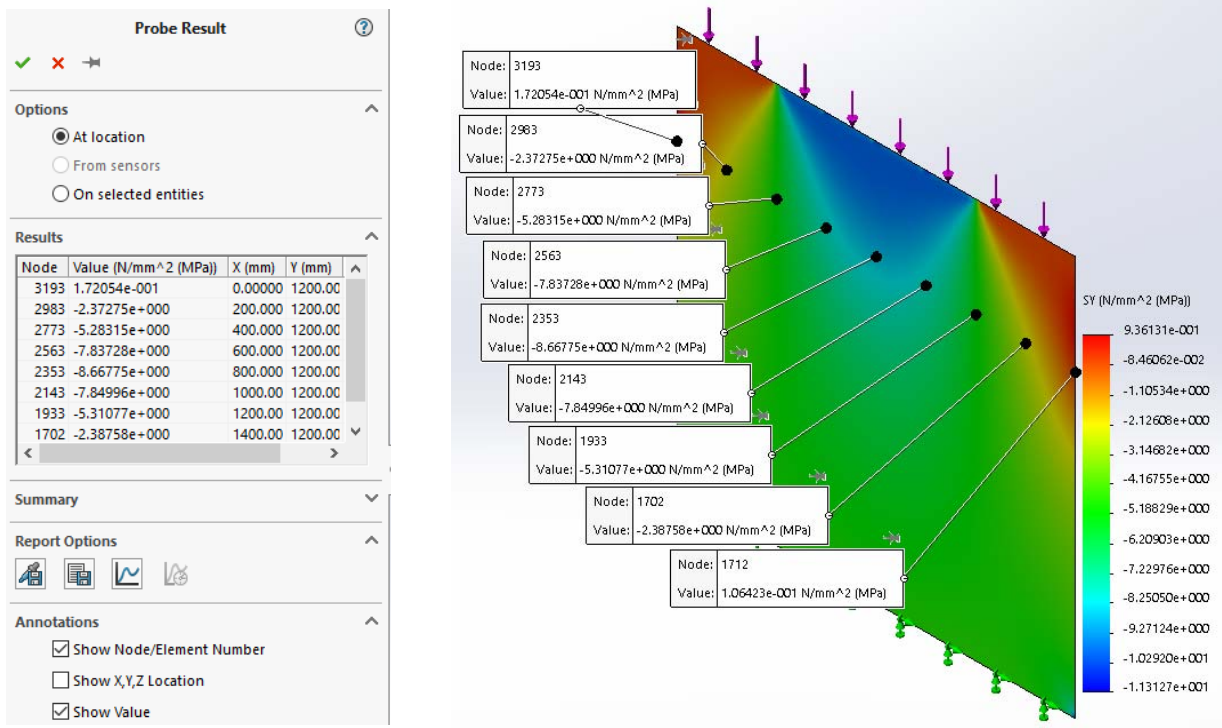



Рис. 4.137

Відзначимо, що при зондуванні підсвічується команда  **Эпюра** (Plot) в закладці *Параметры отчета* (Report Options). Натиснувши на неї ЛКМ, отримаємо аналог епюри з рисунка з теоретичним рішенням (рис. 4.138).

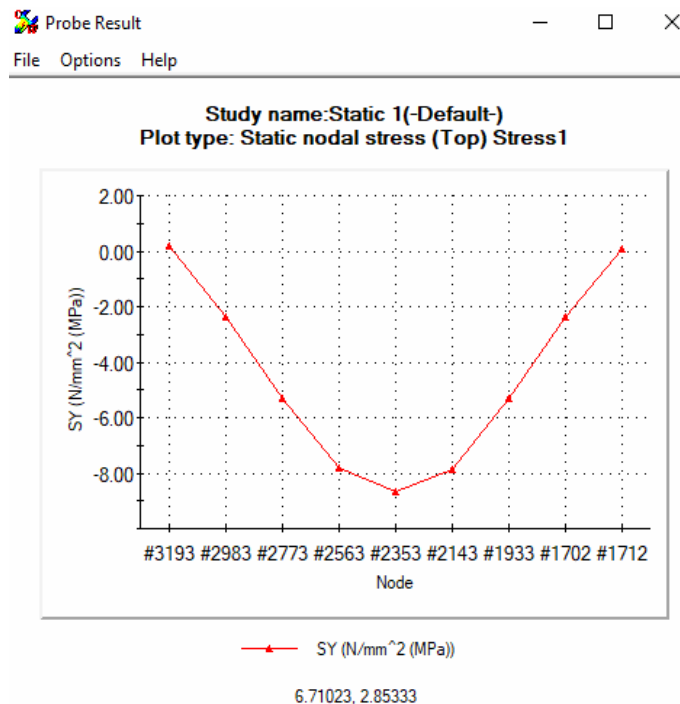


Рис. 4.138

Аналогічно проведемо зондування (рис. 4.139) і побудову графіка для переміщень (рис. 4.140).

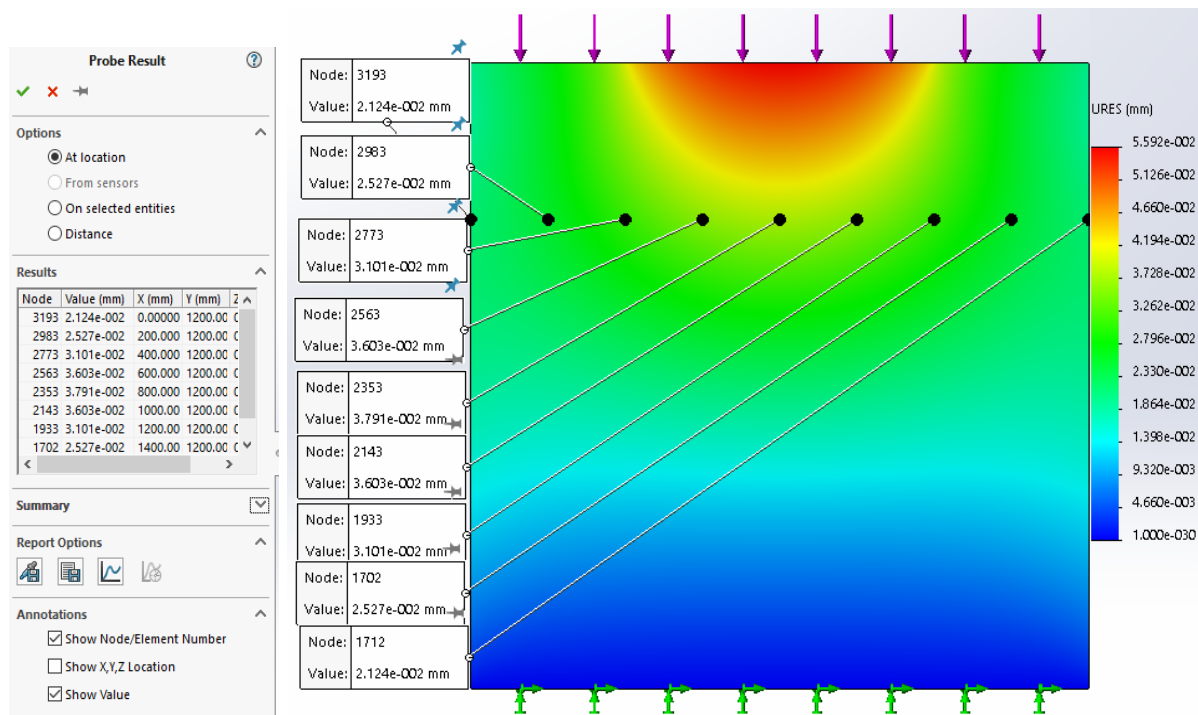


Рис. 4.139

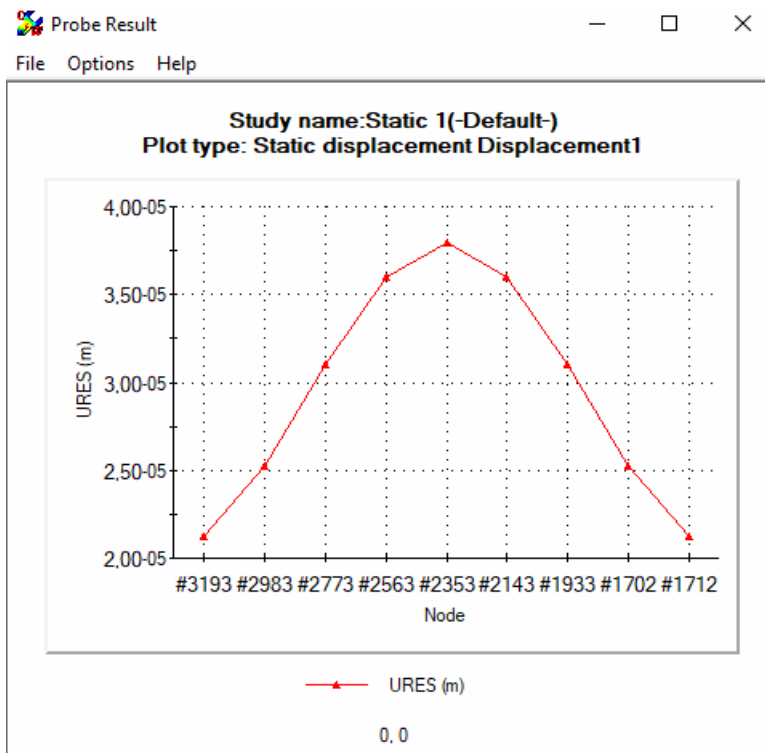


Рис. 4.140

Порівняння з теоретичними даними показує похибку максимум в 7%. Похибка більша у точок, які розташовані ближче до бічних сторін пластини.

Зберігаємо модель з розрахунками під ім'ям **Завдання_4.5**.

4.6. Розрахунок оболонкової конструкції типу бак

Завдання: бак для води має розміри: довжина $a = 2\text{ м}$; ширина $b = 2\text{ м}$; висота $h = 2\text{ м}$; товщина стінки $t = 20\text{ мм}$. Матеріал — сталь з модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11}\text{ Па}$ (рис. 4.141).

Завдання: визначити максимальні напруження і переміщення.

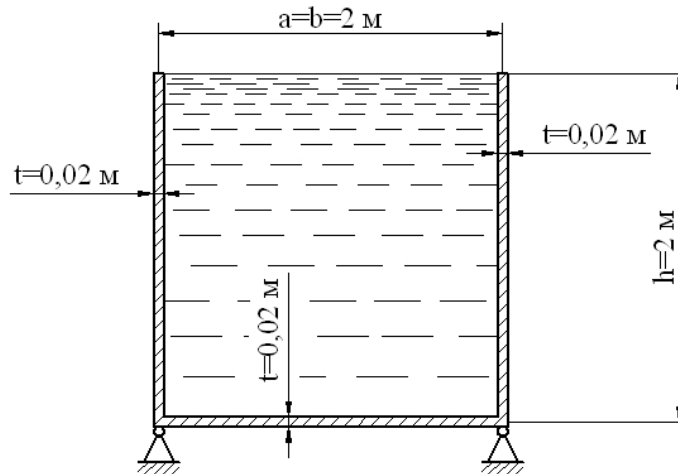


Рис. 4.141

Порядок виконання завдання:

Створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

На площині *Тор (Сверху)* будуємо контур бака (рис. 4.142):

Вкладка **Эскиз > Линия**, або вкладка **Эскиз > Прямоугольник**

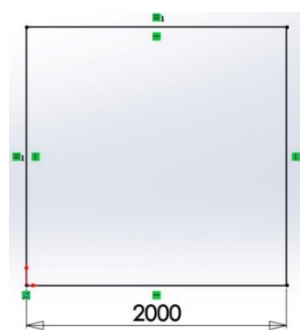




Рис. 4.142

Створюємо стінки бака. Меню **Вставка > Поверхность > Вытянуть**. У вікні *Поверхность-Вытянуть* в закладці *Направление 1* в рядку  *Глубина* вводимо значення висоти бака — 2000 мм (рис. 4.143). Натискаємо .

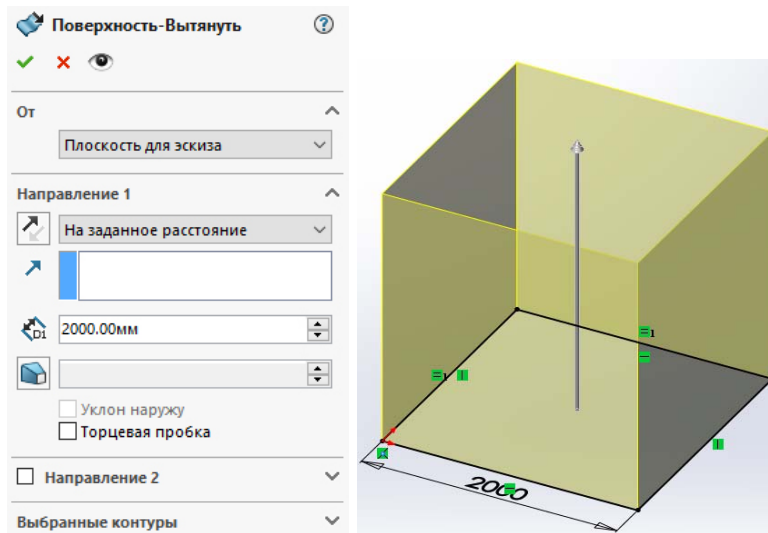


Рис. 4.143

Для оптимізації роботи додаємо вкладку **Поверхности**. Натискаємо правою кнопкою миші по вкладках і вибираємо **Поверхности** (рис. 4.144).

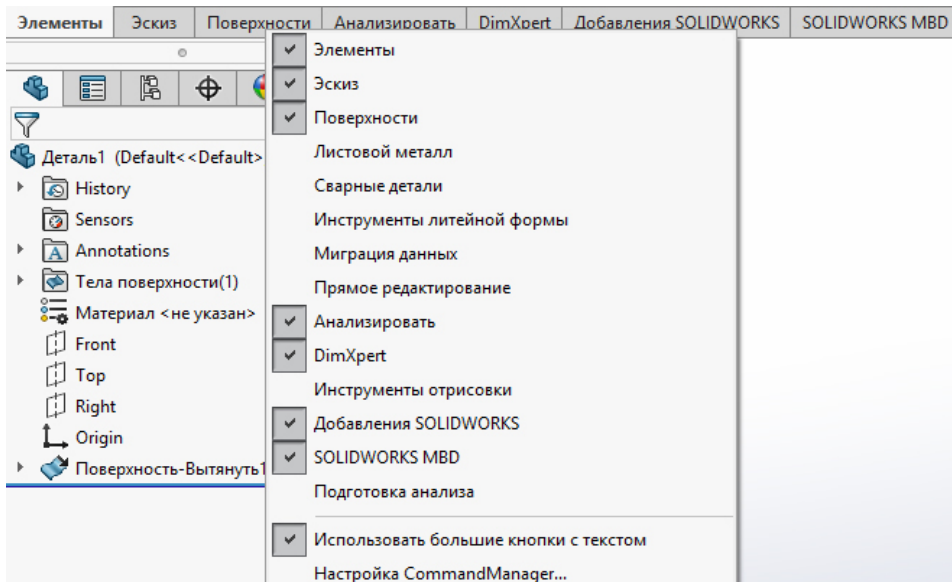


Рис. 4.144

Створюємо дно бака. Вкладка **Поверхности** > **Вытянуть** > **Плоская поверхность**. Далі в дереві конструювання вибираємо раніше створений ескіз (рис. 4.145). Натискаємо . Модель бака, готова до подальшого розрахунку, представлена на рис. 4.146.

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks** > **SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'являється нова вкладка **Simulation**.

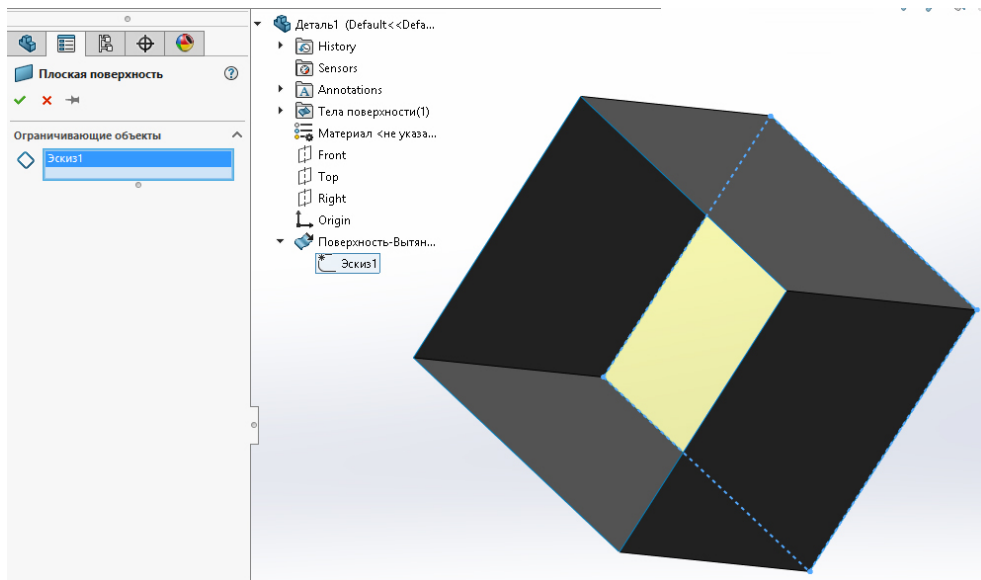



Рис. 4.145

Вкладка **Simulation** > **Консультант Исследования** >  **Новое исследование** (рис. 4.147).

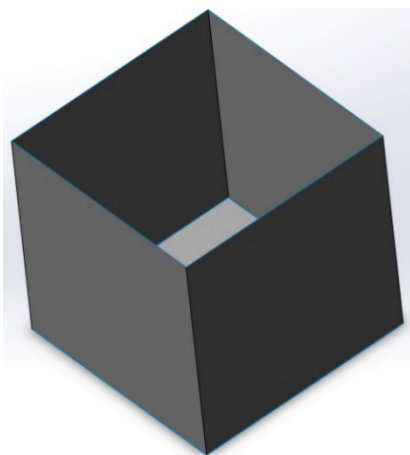


Рис. 4.146

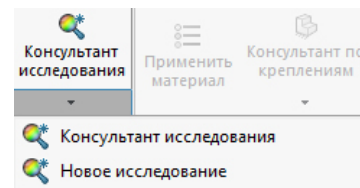




Рис. 4.147

У вікні *Study (Исследование)* вибираємо тип дослідження —  **Static** (Статическое) (рис. 4.148). Натискаємо .

З'являється **Дерево исследования** (рис. 4.149).

Так як модель бака була створена за допомогою поверхонь, що має на увазі, що стінки і дно мають «нульову товщину», на початку необхідно вказати товщину. Для цього в **Дерево исследования** вибираємо оболонки, що складають стінки і дно бака, і натискаємо ПКМ. У випадяючому меню вибираємо **Edit Definition** (Редактировать определение) (рис. 4.150).

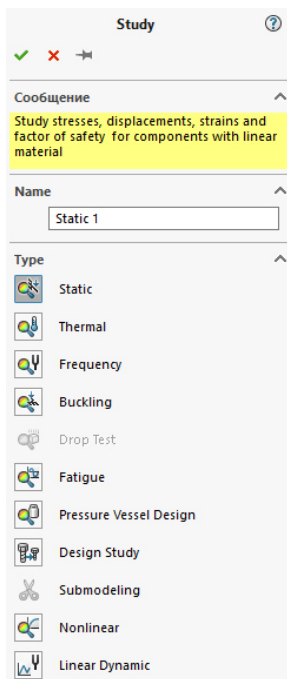


Рис. 4.148

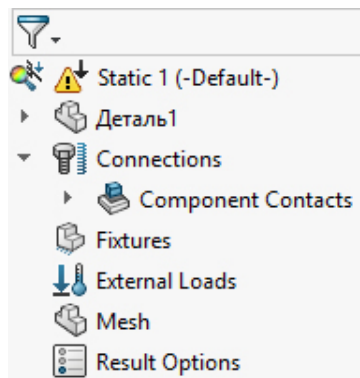


Рис. 4.149

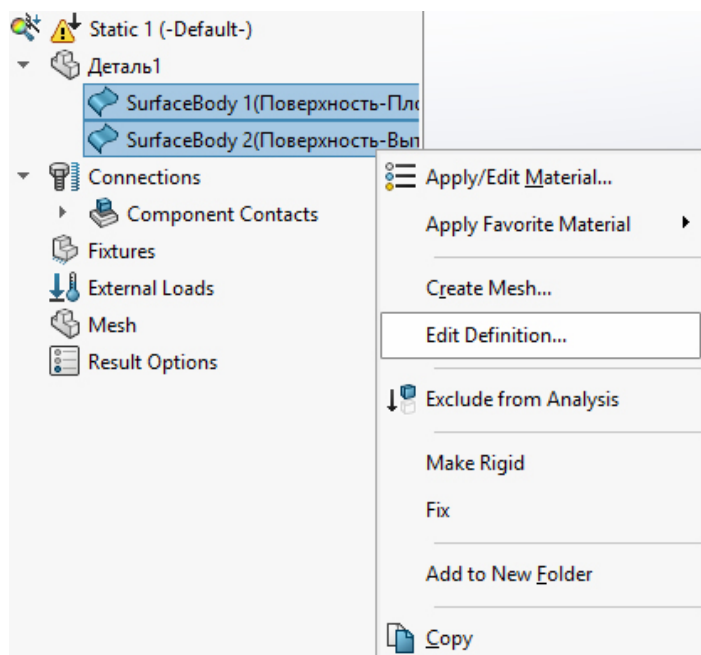



Рис. 4.150

Відкривається вікно *Shell Definition (Определение оболочки)*, вибираємо пункт *Thin (Тонкостенный)*, вводимо товщину — 20 мм (рис. 4.151). Натискаємо .

Відзначимо, що після призначення товщини зовнішній вигляд моделі бака не змінився. Проте, при розрахунку SolidWorks Simulation буде враховувати задану товщину 20 мм.

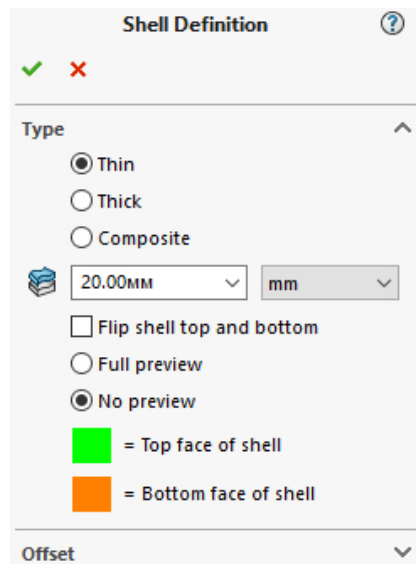


Рис. 4.151

Завдання матеріалу бака. Для цього в Дереве исследования натискаємо ПКМ на Деталь1 і вибираємо *Apply Material to All Bodies* (*Применить материал ко всем телам*). Відкривається вікно *Материал*. Тут обираємо **solidworks materials > Сталь > AISI 1010 Сталь, горячекатаная полосовая** (модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па) (рис. 4.152).

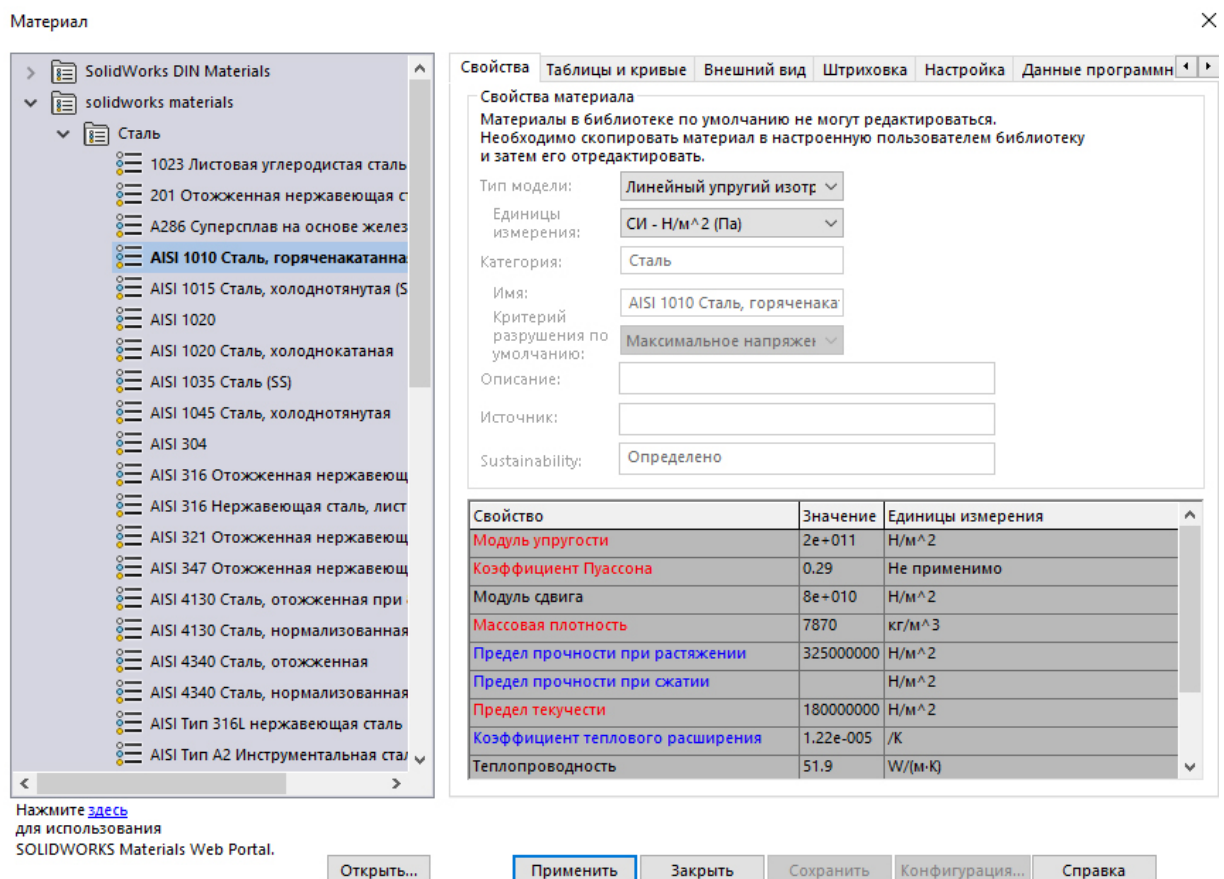






Рис. 4.152

Натискаємо **Применить** > **Заккрыть**.

Наступний крок — призначення кріплень. Для цього в **Дереве исследования** натискаємо ПКМ на пункті  *Fixtures (Крепления)* і вибираємо  *Fixed Geometry (Зафиксированная геометрия)*. Відкривається вікно *Fixture (Крепление)*, в якому в закладці *Standard (Стандартный)* вибираємо  *Fixed Geometry*. У графічній області вибираємо дві нижні бокові кромки, як показано на рис. 4.153. Натискаємо .

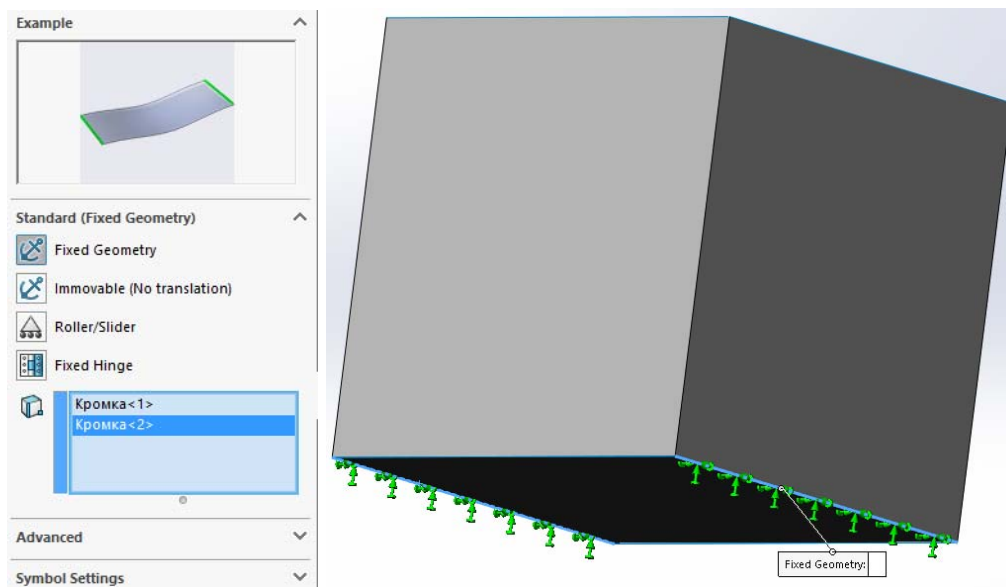






Рис. 4.153

Наступний крок — призначення навантаження. Докладемо тиск до днища бака. Для цього ПКМ натискаємо на пункті  *External Loads (Внешние нагрузки)* і далі —  *Pressure (Давление)*.

Виходячи з того, що щільність води $\rho = 1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^3$, об'єм бака $V=8 \text{ м}^3$, вважаючи $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, маємо, що на дно бака діє сумарна сила в 78480 Н, яку розділимо на площу днища бака 4 м^2 і докладемо величину 19620 Н/м^2 .

У вікні *Pressure (Давление)* виконуємо наступні дії:

- в рядку *Значение давления*  вводимо 19620;
- в графічній області вибираємо внутрішню поверхню днища бака (рис. 4.154). .

Далі необхідно докласти навантаження від тиску на стінки. Але перед цим повернемося в графічний редактор і встановимо допоміжну систему

координат, що в подальшому знадобиться для призначення нерівномірного розподілу тиску по висоті бака.

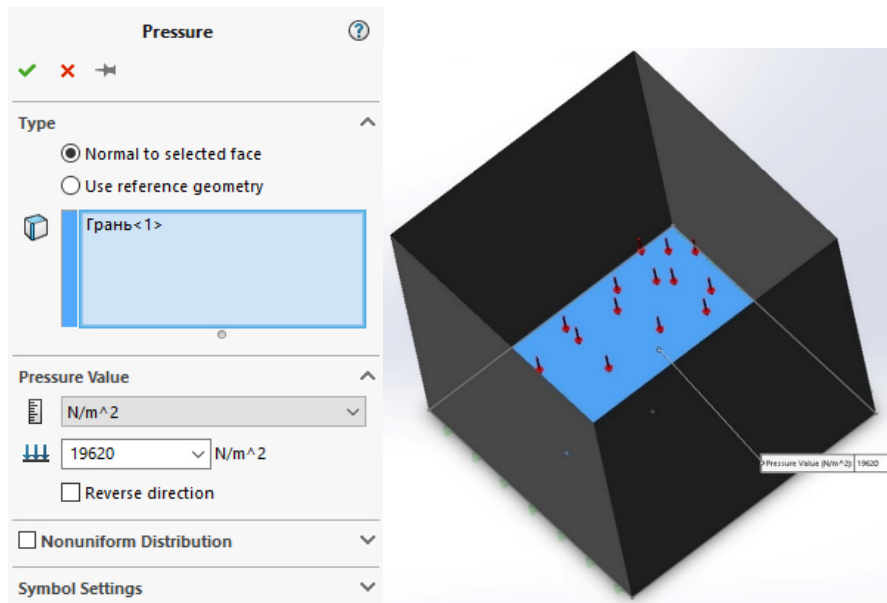


Рис. 4.154

Для цього: вкладка **Элементы** > **Справочная геометрия** > **Система координат**. Відкривається вікно *Система координат*, в якому виконуємо наступні дії:

– в якості **Исходной точки** виберемо один з верхніх кутів бака (який конкретно — не важливо);

– біля рядка **Ось Y** відзначимо *Реверс направления* (рис. 4.155).

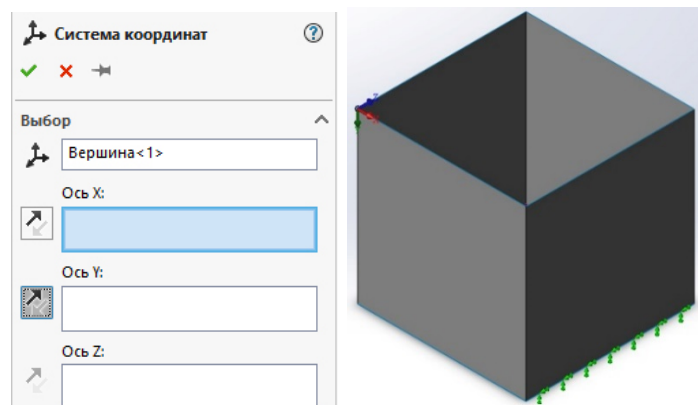



Рис. 4.155

Переходимо до додавання навантаження. Для цього ПКМ натискаємо **External Loads (Внешние нагрузки)** > **Pressure (Давление)**

У вікні *Pressure (Давление)* виконуємо наступні дії:

- активуємо вкладку *Nonuniform Distribution (Неравномерное давление)*, вибираємо тільки що створену допоміжну систему координат;
 - Значение давления \equiv введемо 1Н/м^2 , а також відзначимо *Реверс направления*;
 - в графічній області вибираємо внутрішні бокові грані баку;
 - натискаємо кнопку **Edit Equation**, в вікні *Edit Equation(Cartesian)* обнуляємо координати x і z , зміна тиску відбувається по осі y (рис. 4.156). .
- Модель показана на рис. 4.157.

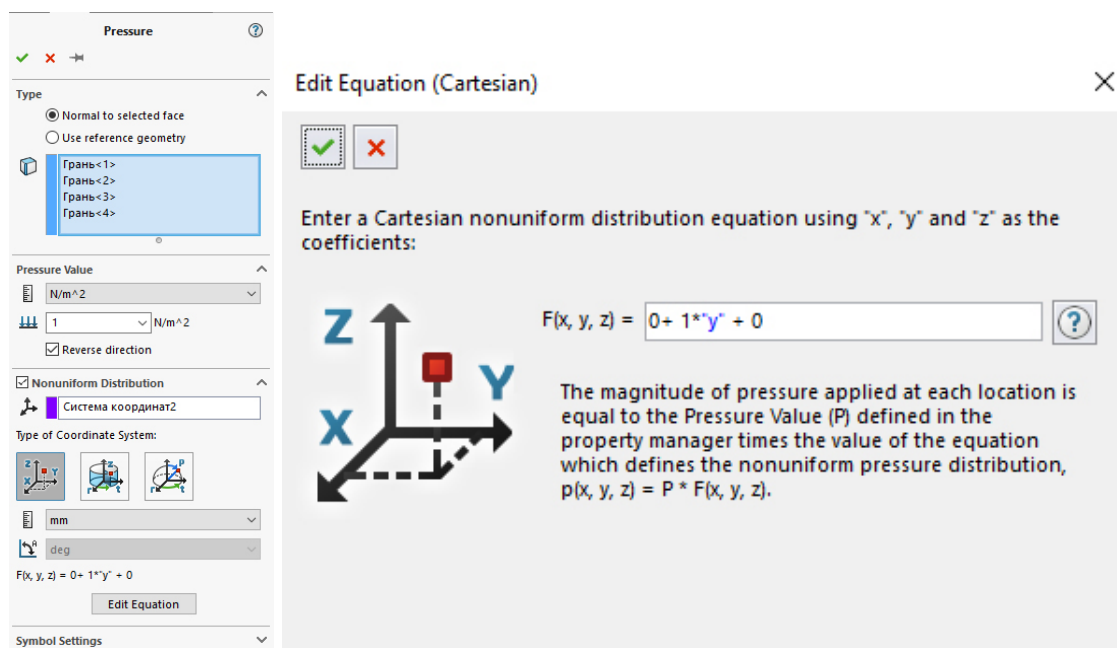


Рис. 4.156

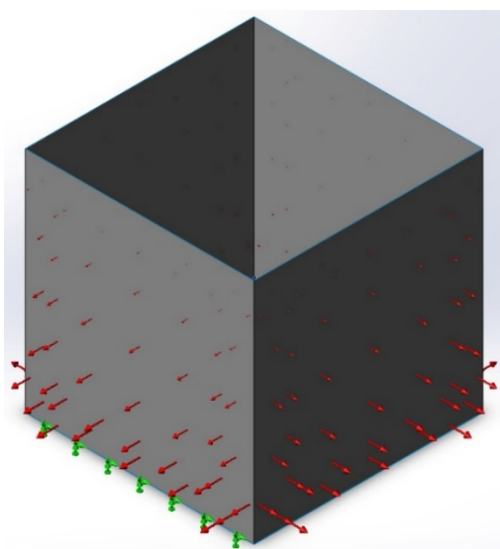




Рис. 4.157

Наступний крок — створення сітки. Для цього натискаємо ПКМ на пункті *Mesh (Сетка)* в **Дереве дослідження**, і далі вибираємо  *Create mesh (Создать сетку)*.

Відкривається вікно *Mesh*, в якому виконуємо наступні дії:

– натискаємо *Mesh Parameters*;

– вибираємо пункт *Standard mesh (Стандартная сетка)*;

– в графі  *Глобальный размер* вводимо розмір елемента — 50 мм (допуск при цьому обчислюється автоматично — 2,5 мм) (рис. 4.158).

Натискаємо . Готова сітка представлена на рис. 4.159.

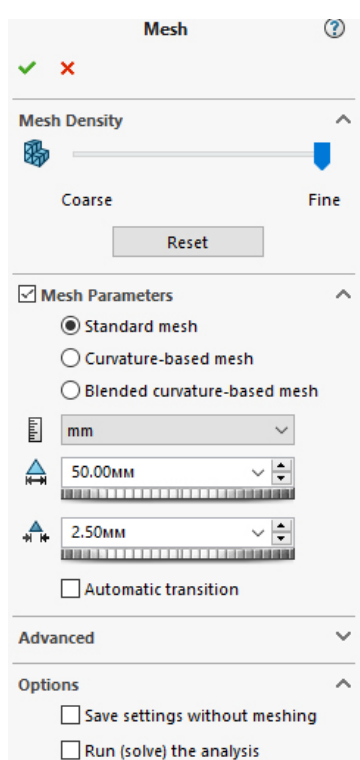


Рис. 4.158

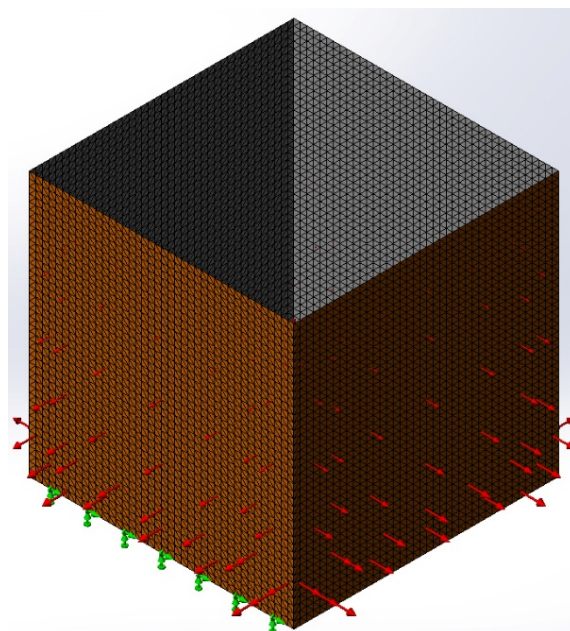



Рис. 4.159

Розрахункова схема готова, приступаємо до розрахунку — натискаємо ПКМ по назві дослідження *Static 1* в **Дереве дослідження** і вибираємо  *Run (Выполнить)*.

Після виконання розрахунку програма виводить епюри напружень, переміщень і деформацій.

Епюра напружень представлена на рис. 4.160.

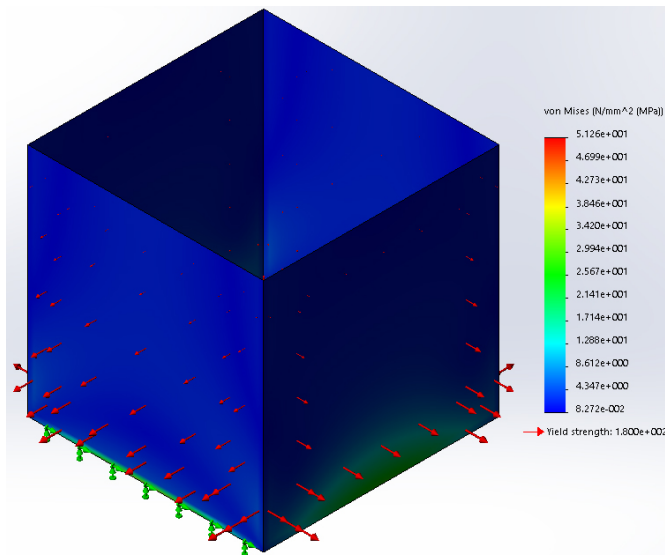


Рис. 4.160

Епюра переміщень представлена на рис. 4.161.

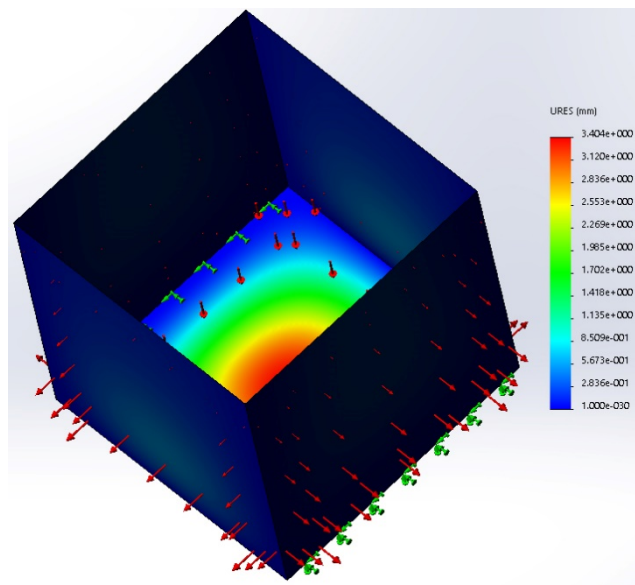


Рис. 4.161

Зберігаємо модель з розрахунками.

4.7. Розрахунок стрижневої ферми консольного типу в SolidWorks Simulation

Дано: стрижнева ферма консольного типу закріплена на вертикальній стіні і навантажена зосередженими силами $F_1 = 300$ кН, $F_2 = F_3 = 200$ кН. Величини прольотів ферми — $d = 5$ м, висота — $l = 5$ м. Матеріал — сталь з модулем пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па (рис. 4.162).

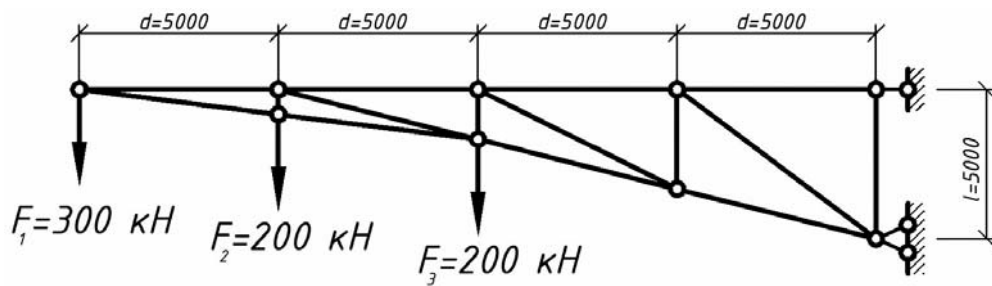


Рис. 4.162

Завдання: потрібно визначити величини напружень в стрижнях, що складають дану конструкцію і порівняти з теоретичними.

Розрахункова схема представлена на рис. 4.163. Зусилля, обчислені аналітичним шляхом, наведено в табл. 4.1.

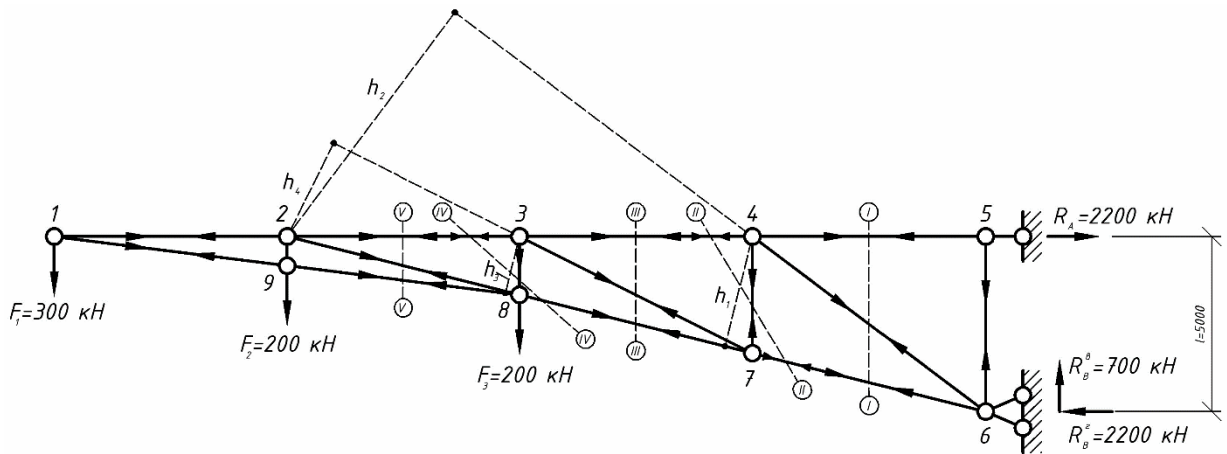


Рис. 4.163

Таблиця 4.1

Зусилля в стрижнях

Стрижень	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	7-6	8-7	9-8
Зусилля, кН	1799,83	2400	2250	2200	-700	-237,71	2529,82	-1824,76
Стрижень	1-9	2-9	2-8	3-8	3-7	4-7	4-6	
Зусилля, кН	-1824,83	200	-632,47	-100	180,28	50	70,71	

Порядок виконання завдання: створюємо документ нової деталі.

Файл > Новый > Деталь > ОК.

На площині *Front* будуюмо ескіз. Вкладка **Эскиз > Линия**. Креслимо чотири горизонтальних і одну вертикальну лінію (рис. 4.164, а).

Наносимо розмір на одну з ліній:

вкладка **Эскиз >  Автоматическое нанесение размеров.**

Далі назначимо взаємозв'язок рівності для побудованих ліній. Натиснувши клавішу **Ctrl** виділяємо все лінії. У вікні *Свойства* вибираємо **Равенство** (рис. 4.164, б).

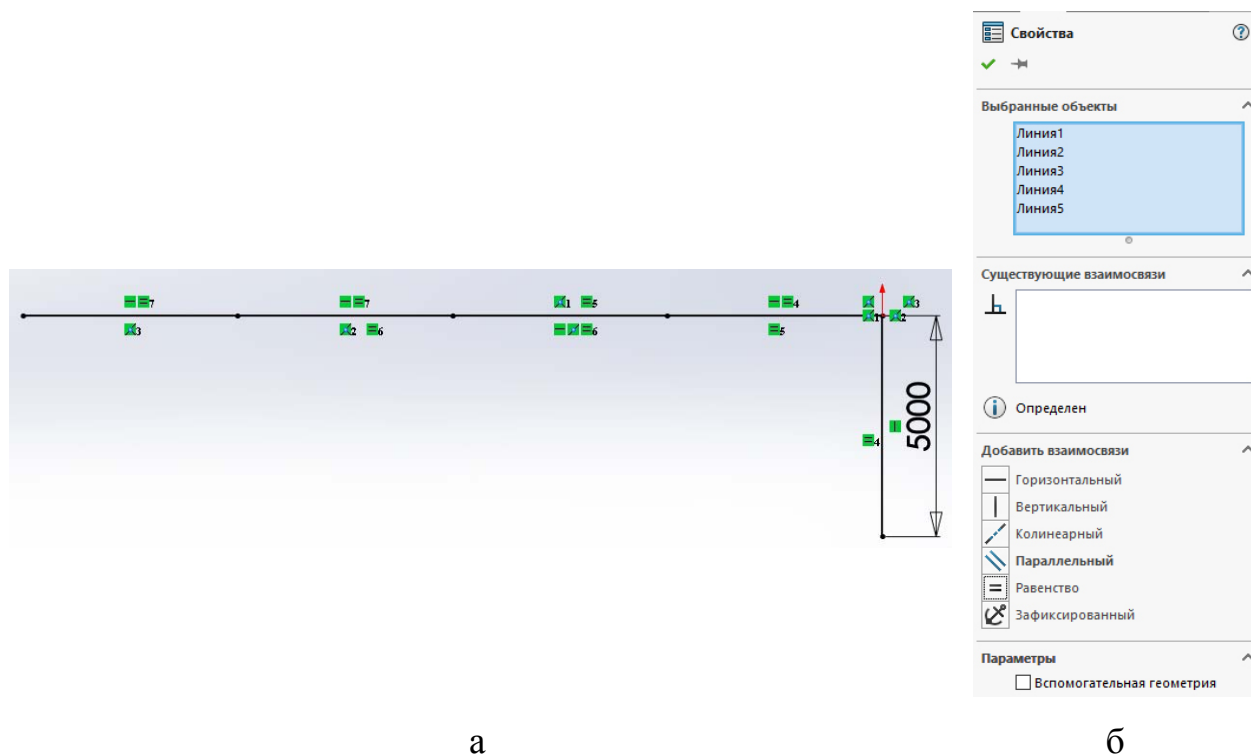


Рис. 4.164

Будуємо три вертикальні зв'язки та лінії для стрижнів 2-8, 8-7 і 7-6.

Для останніх призначимо прив'язку колінеарність. Натиснувши **Ctrl** виділимо три похилі лінії, у вікні *Свойства* вибираємо *Колінеарність* (рис. 4.165).

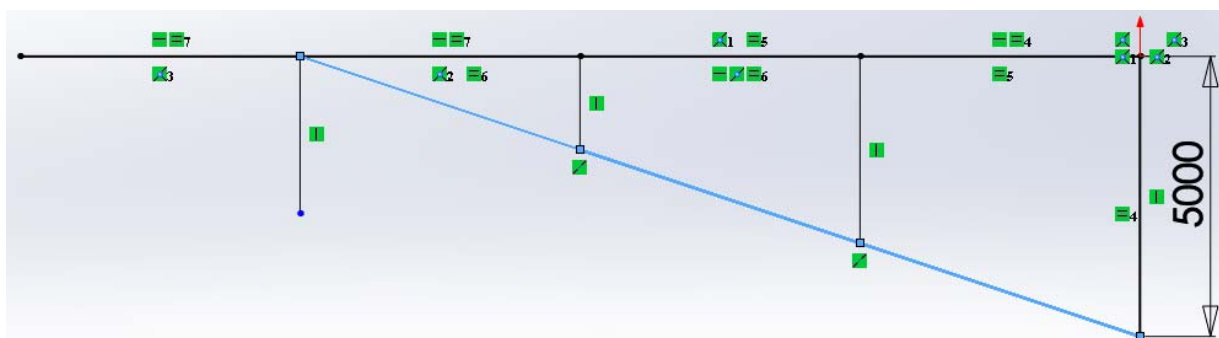


Рис. 4.165

Аналогічним чином проводимо відсутні лінії (рис. 4.166). Виходимо з ескізу.

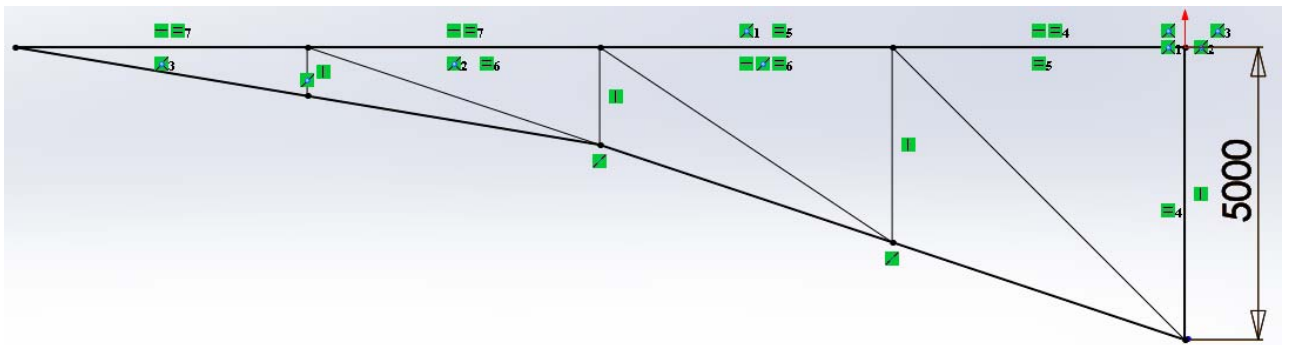




Рис. 4.166



У пакеті SolidWorks Simulation немає можливості порахувати «готову» схему, тому її доведеться перетворити в конструкцію з конкретними габаритами.

Для цього найбільш підходить створення поверх намальованого ескізу (точніше, по його лініях) звареної деталі із застосуванням або стандартних, або власноруч створених профілів.

Меню **Вставка > Сварные детали >  Конструкция**. Відкривається діалогове вікно *Конструкция*, в якому:

- в меню *Стандарт* вибираємо *iso*;
- в меню *Тип* вибираємо *Прямоугольная труба*;
- в меню *Размер* вибираємо 120 x 80 x 8;
- активуємо вікно *Группы*.

Тепер потрібно вибрати ті лінії ескізу, які необхідно «обшити» обраним профілем. Слід врахувати, що потрібно вибирати в одну конструкцію взаємопов'язані об'єкти. Вони можуть утворювати замкнутий контур. Але вибрати кілька непересічних елементів/об'єктів ескізу неможливо. Тому, спочатку виберемо всі елементи зовнішнього поясу ферми (рис. 4.167), знімаємо галочку з пункту *Применить обработку углов*. Натискаємо .

Знову запускаємо команду  **Конструкция**. Та при тих же параметрах, що і в попередньому випадку, вибираємо послідовно елементи стійок і розкосів, як показано на наступному рис. 4.168. Натискаємо .

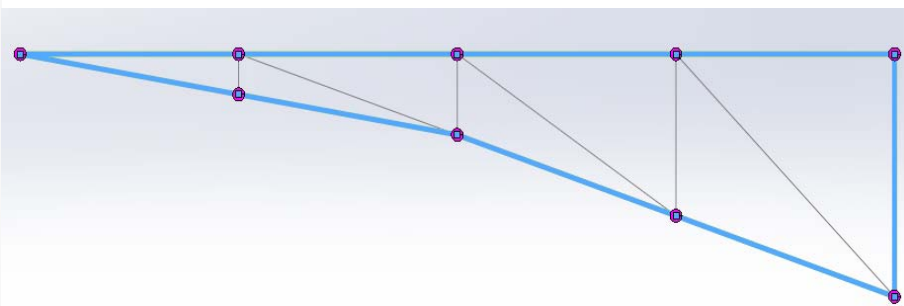
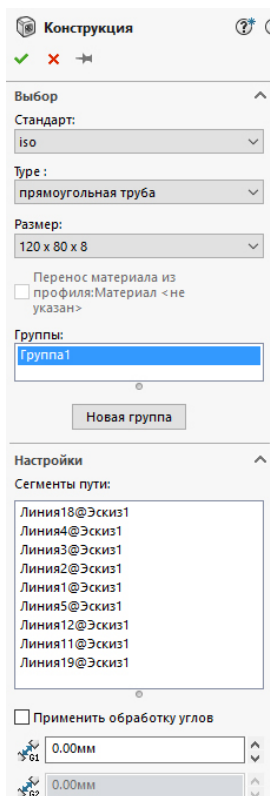


Рис. 4.167

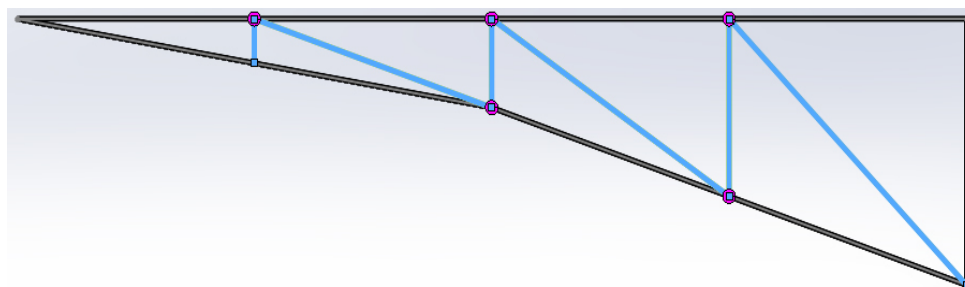
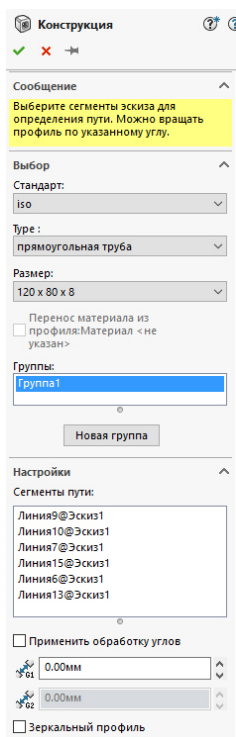


Рис. 4.168

Звернемо увагу на значки по кінцях стрижнів, які добре видно при створенні нової групи зварних елементів (ці групи, що з'являються в дереві конструювання, можна редагувати, подібно будь-яких об'єктів). Вони аналогічні знакам кріплень при проведенні дослідження деталей типу балки.

Тобто при створенні звареної конструкції вона автоматично буде сприйматися програмою, як та, що складається з балкових елементів (хоча при бажанні її можна перетворити в твердотільну).

Також слід зазначити факт зняття галочки з пункту **Применить обработку углов**. Наблизимо будь-який вузол конструкції (рис. 4.169).

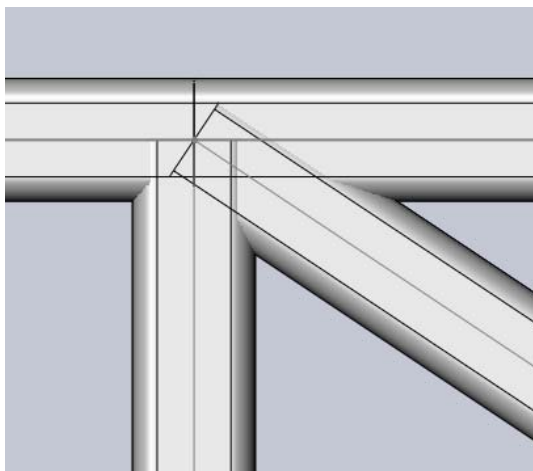




Рис. 4.169

Як бачимо, йде взаємопроникнення елементів. Для креслення деталі це недопустимо. Але, це абсолютно необхідно для коректного розрахунку конструкції, як балочної моделі, в іншому випадку програма не зможе правильно призначити з'єднання. Тому при необхідності провести розрахунок стрижневої/ балочної моделі доводиться часто керуватися саме таким підходом — тобто будувати для розрахунку окрему, спрощену модель.

Модель стрижневої ферми готова до подальшого розрахунку, збережемо її під ім'ям **Ферма**.

Наступний крок — створення нового дослідження: вкладка **Добавления SolidWorks > SolidWorks Simulation**. В області вкладок з'явиться нова вкладка **Simulation**. Вкладка **Simulation > Консультант Исследования > Новое исследование** (рис. 4.170).

У вікні *Study (Исследование)* вибираємо тип дослідження —  **Static** (Статическое) (рис. 4.171). Натискаємо .

З'являється **Дерево исследования**, і, якщо розгорнути закладку **Ферма**, то видно, що всі елементи конструкції визначені, як балки.

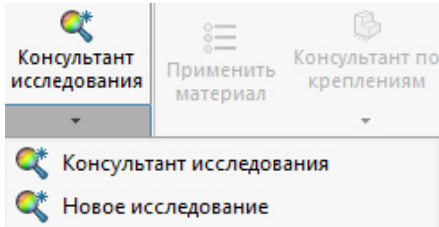


Рис. 4.170

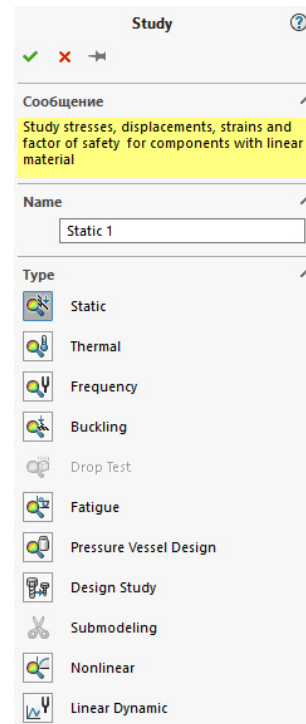
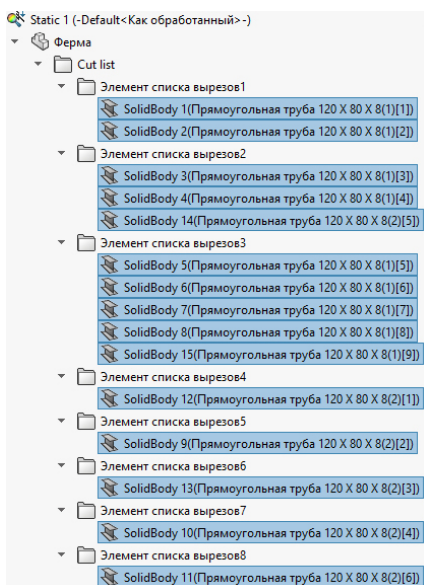
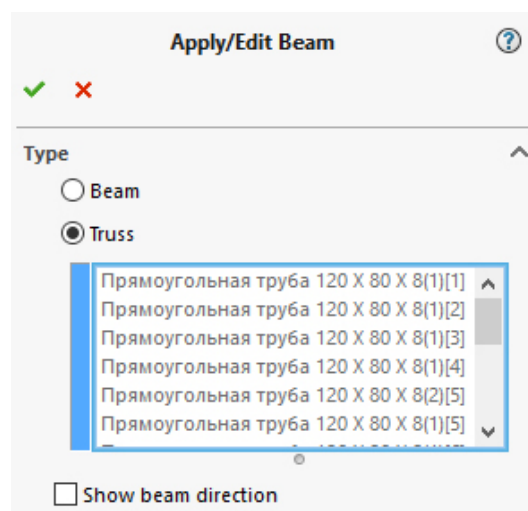


Рис. 4.171

При розрахунку ферм вважають, що вони складаються із стрижневих елементів, що піддаються тільки осьовим навантаженням і з'єднані шарнірами. Тому виберемо всі елементи балки в закладці **Ферма Дерева дослідження** (рис. 4.172, а). Натискаємо ПКМ і обираємо *Edit Definition* (*Редактировать определение*). У вікні *Применить/редактировать балку*, в закладці *Тип* вибираємо пункт **Truss** Стержень (рис. 4.172, б). ✓



а



б

Рис. 4.172

Наступний крок — завдання матеріалу стрижневої ферми. У **Дереве дослідження** натискаємо ПКМ на **Ферма** і вибираємо *Apply Material to All Bodies* (*Применить материал ко всем телам*). Відкривається вікно *Материал*. Вибираємо **solidworks materials > Сталь > AISI 1010 Сталь, горячекатаная полосовая** (модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па). Натискаємо **Применить > Заккрыть** (рис. 4.173).

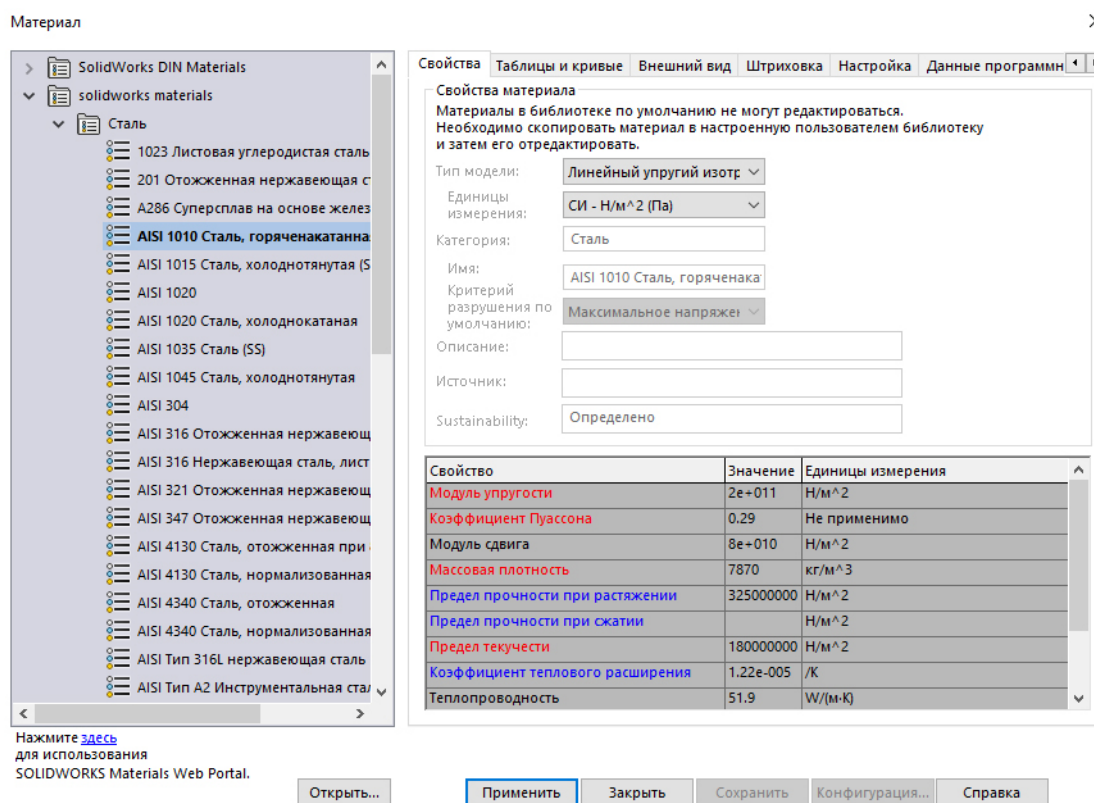







Рис. 4.173

Задаємо умови закріплення. Для цього в **Дереве дослідження** натискаємо ПКМ на пункті *Fixtures* (*Крепления*) та вибираємо *Fixed Geometry* (*Зафиксированная геометрия*). Відкривається вікно *Fixture* (*Крепление*), в якому в закладці *Standard* (*Стандартный*) вибираємо *Fixed Geometry*. А в полі **Соединения** вибираємо нижню опору, як показано на рис. 4.174. Натискаємо .

Далі призначимо верхній шарнір. Для цього в **Дереве дослідження** натискаємо ПКМ на пункті *Fixtures* (*Крепления*) і вибираємо *Fixed Geometry* (*Зафиксированная геометрия*). Відкривається вікно *Fixture* (*Крепление*), в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Standard (Стандартный)* вибираємо пункт  *Use Reference Geometry (Использовать справочную геометрию)*;
- в якості **Соединения**  вибираємо верхній вузол (рис. 4.175);
- активуємо рядок  *Грань, Кромка, Плоскость, Оси для направления* і виберемо площину *Right*;
- в закладці *Translations (Смещение)* вибираємо пункт  *Перпендикулярно плоскости*. Натискаємо .

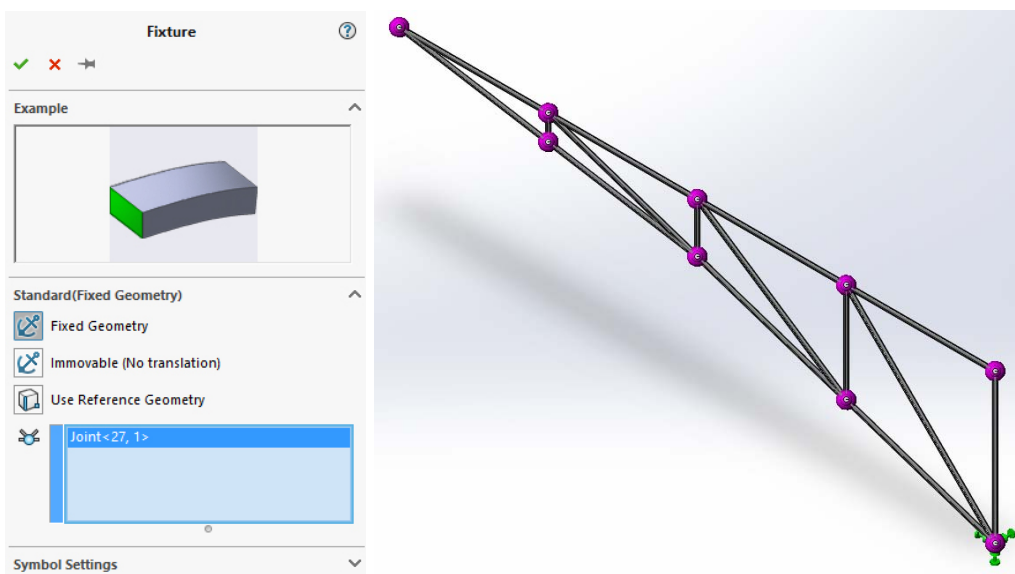


Рис. 4.174

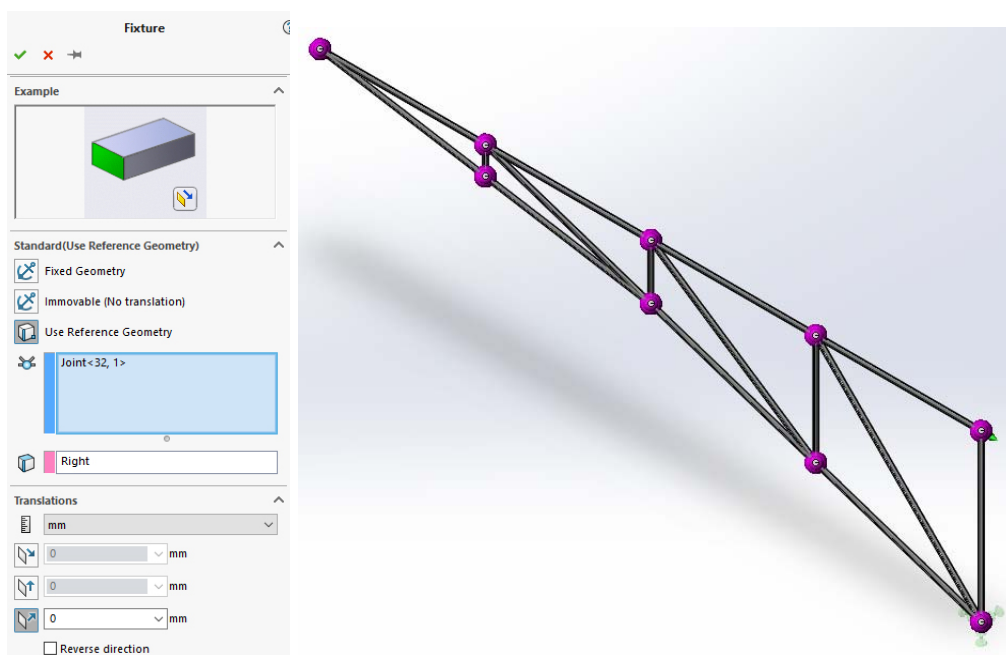


Рис. 4.175

Кріплення вже задані, але слід зазначити один важливий момент: наша система сприймається програмою, як просторовий (3D) об'єкт. Тому при розрахунку, як плоскої (2D) (представлена розрахункова схема) виникне проблема стабільності системи, що зазвичай призводить до помилок в рішенні. Тому в подібних завданнях потрібно вводити останнє обмеження — на переміщення всіх з'єднань перпендикулярно плоскості, в якій лежить ферма. Ця процедура зображена на рис. 4.176, і рекомендується її виконати самостійно.

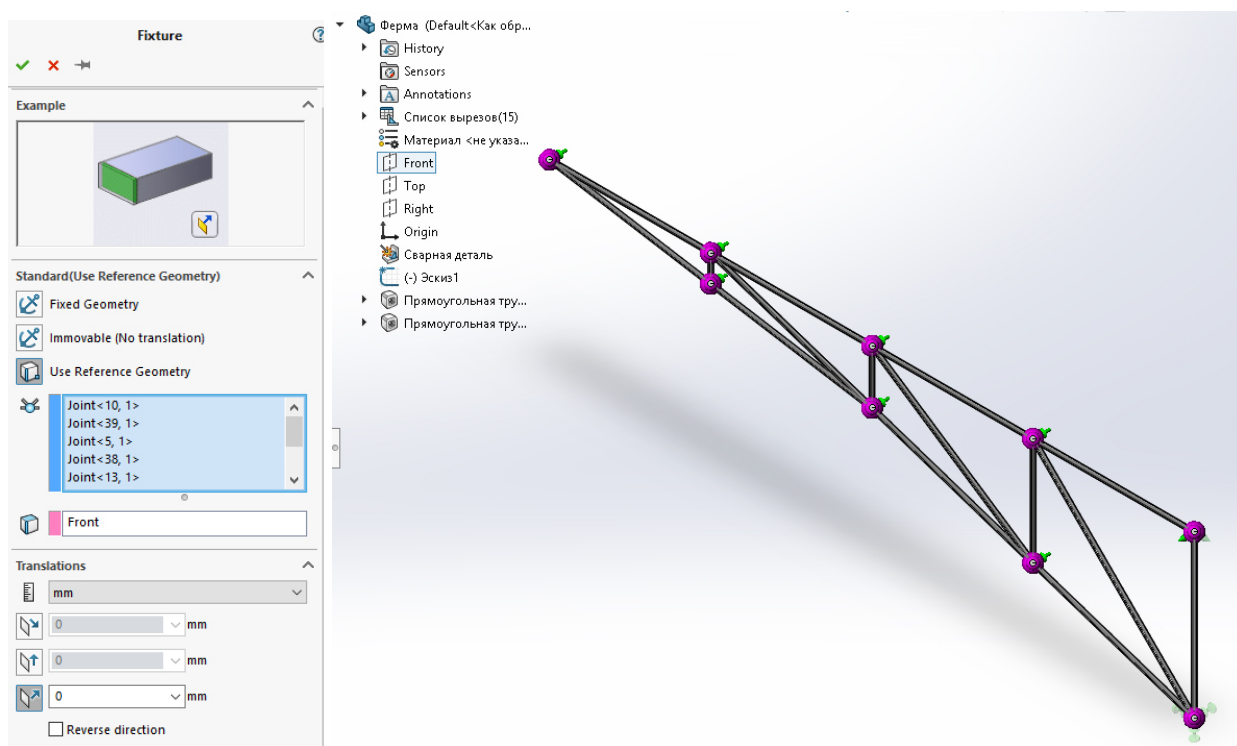








Рис. 4.176

Задаємо зовнішні навантаження. Для цього ПКМ натискаємо на пункті  *External Loads (Внешние нагрузки)* в Дереві дослідження і вибираємо  *Force (Сила)*.

Відкривається вікно *Force/Torque*, в якому виконуємо наступні дії:

- в закладці *Selection (Выбор)* вибираємо  *Joints (Соединения)* і в графічній області вибираємо крайній лівий вузол (на схемі вузол, до якого прикладене навантаження F1);

- в якості  *Грань, Кромка, Плоскість, Оси* для направлення вибираємо плоскість *Top*;

– в закладці *Force (Сила)* вибираємо  *Перпендикулярно плоскості*, вводим значення сили — 300000Н і відзначаємо пункт *Реверс напрямку* (рис. 4.177). Натискаємо .

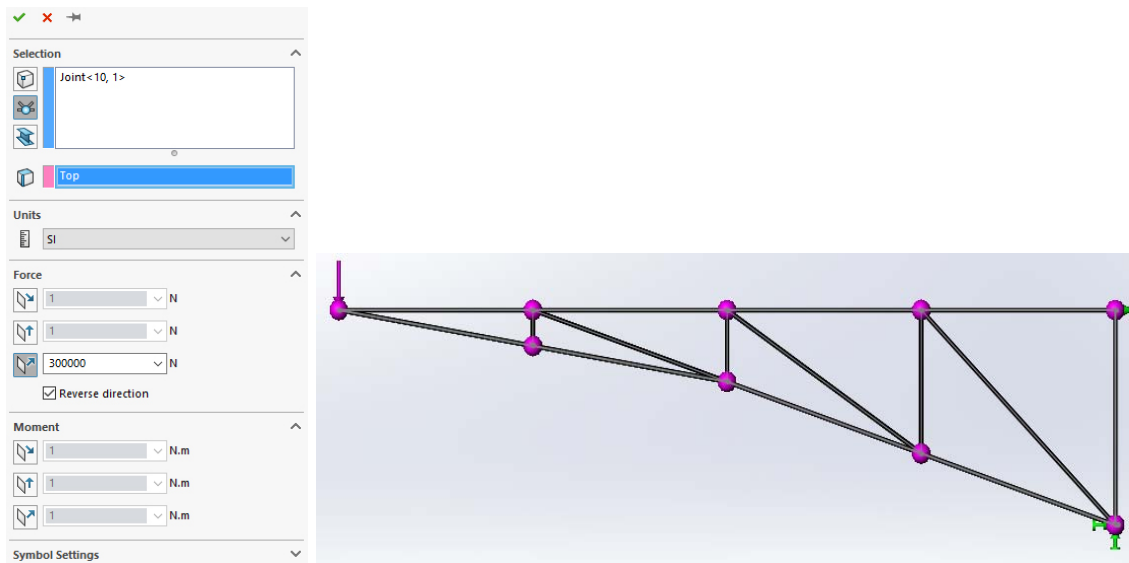


Рис. 4.177

За наведеним вище алгоритмом докладаємо сили F_2 і F_3 (рис. 4.178).

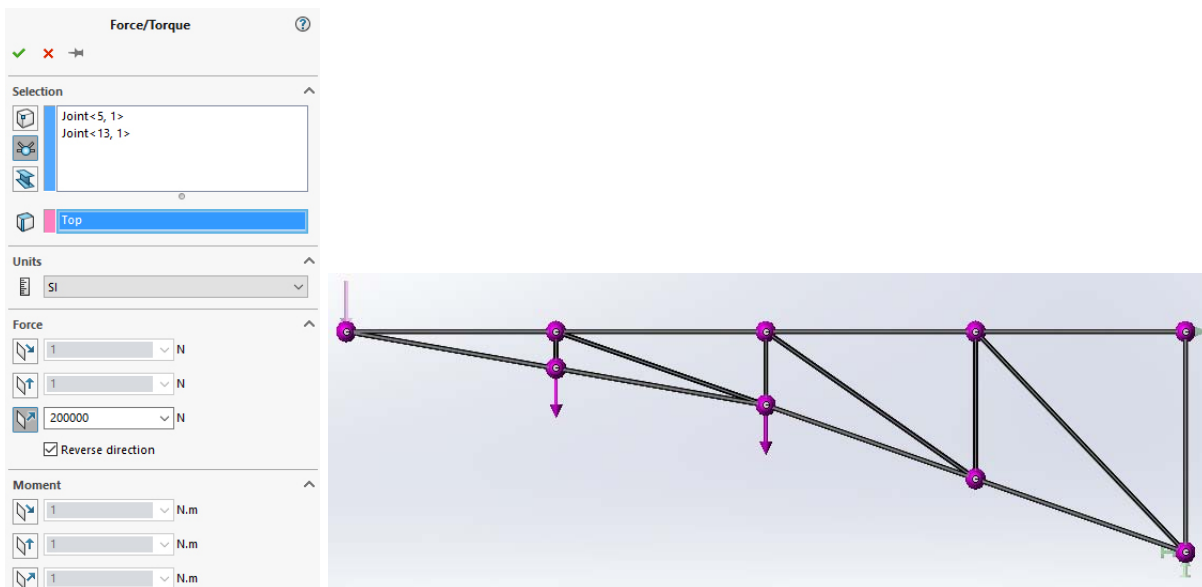




Рис. 4.178

Створюємо сітку. Для цього натискаємо ПКМ на пункті *Mesh (Сетка)* в **Дереві дослідження**, і далі вибираємо  *Create mesh (Создать сетку)*. Розрахункова схема готова і зображена на рис. 4.179.

Приступаємо до розрахунку. Натискаємо ПКМ по назві дослідження в **Дереві дослідження** і вибираємо  *Run (Выполнить)* (рис. 4.180).

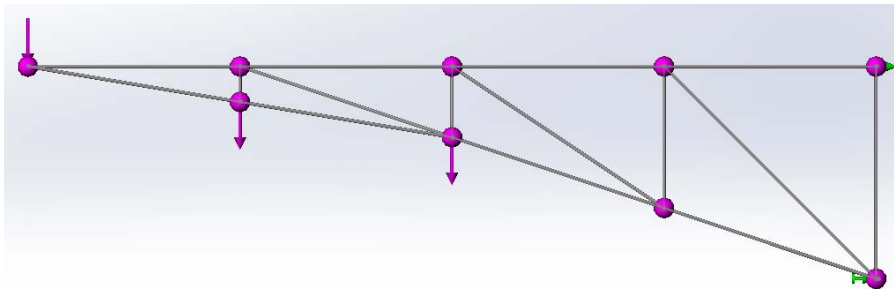


Рис. 4.179

Після виконання розрахунку програма за замовчуванням виводить епюри напружень по Мізесу і результуючого переміщення. При цьому слід пам'ятати, що вони вірні тільки для конкретного перерізу елементів конструкції. Тому нас цікавить тільки осьове напруження. Зазначимо, що в процесі вирішення програма може видати попередження про перехід деформацій в стадію нелінійності і запросить дозволу на перехід до нелінійного аналізу. Слід натиснути **Ні** — переміщення справедливі, як вже говорилося вище, тільки для конкретного перерізу, а нас цікавлять тільки осьові зусилля, тому що по них і буде підібраний остаточний профіль для елементів ферми.

Будуємо епюру нормальних сил. Для цього в **Дереві дослідження** натискаємо ПКМ на пункті *Results > Define Beam diagrams (Определить диаграмму балки)*. Відкривається вікно *Beam diagrams (Диаграмма балки)*, в полі вибираємо *Axial force (Осевое усилие)* (рис. 4.181). Натискаємо .

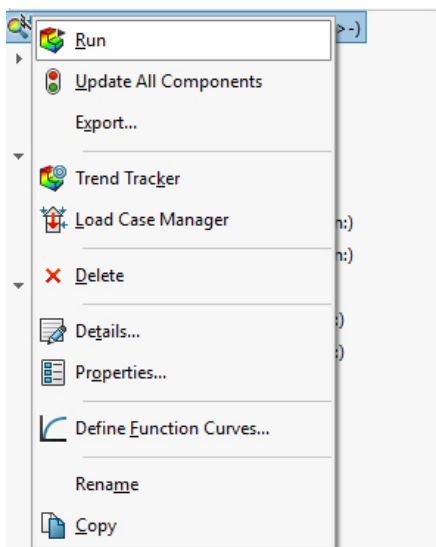


Рис. 4.180

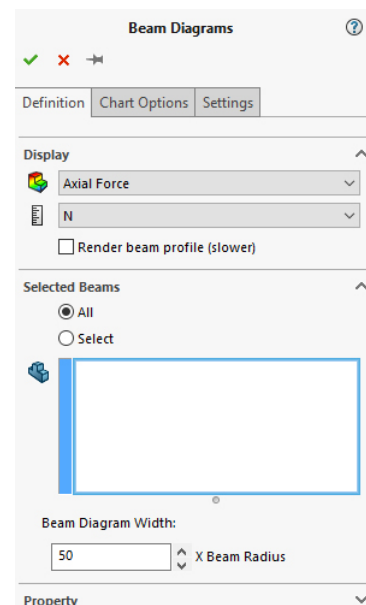


Рис. 4.181

Отримана епюра представлена на рис. 4.182. Результати визначення зусиль — в табл. 4.2.

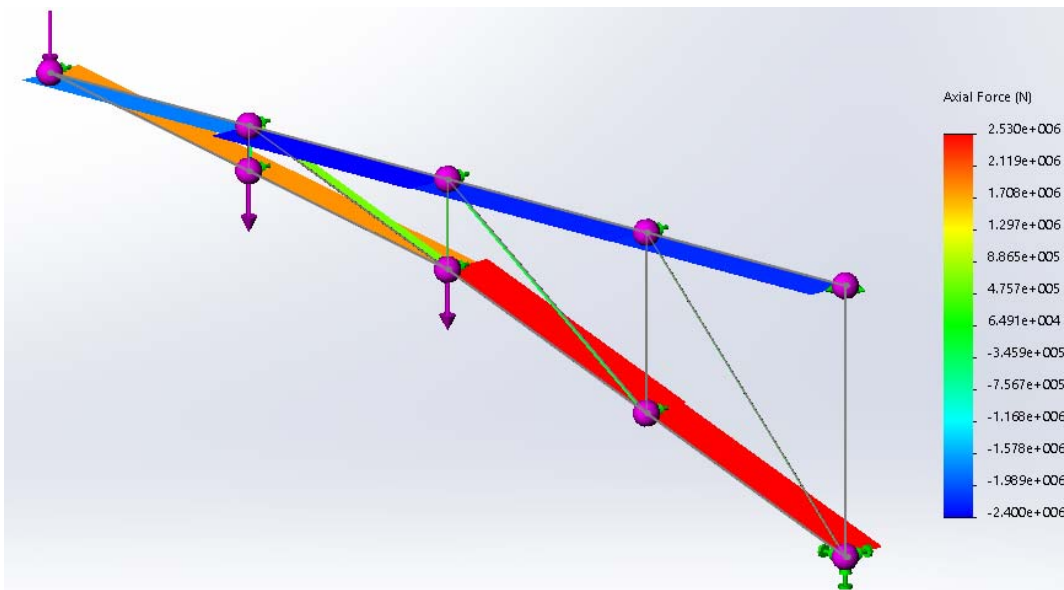


Рис. 4.182

Таблиця 4.2

Величини, отримані при зондуванні

Стрижень	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	7-6	8-7	9-8
Зусилля, кН	1800	2400	2250	2200	-700	-238	2530	-1825
Стрижень	1-9	2-9	2-8	3-8	3-7	4-7	4-6	
Зусилля, кН	-1825	200	-632,5	-100	180	50	70,71	

Як бачимо, отримані дані майже на 100% збігаються з теоретичними. Зберігаємо модель з розрахунками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко, С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1971. – 807 с.
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер // Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 428 с.
3. Дащенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дащенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов / Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Н. Г. Сурьянинова. — Одесса. — Пальмира, 2011. — 505 с.
4. Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова — М.: ДМК Пресс, 2017. — 210 с.
5. Дащенко А.Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов / А.Ф. Дащенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов — Одесса, ВМВ, 2010. — В 2-х томах. — Т.1. — 416 с. — Т.2. — 512 с.
6. Рикардс Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин / Р.Б. Рикардс — Рига: Зинатне, 1988. — 284 с.
7. Сурьянинов Н.Г. Основные положения численно-аналитического метода граничных элементов / Н.Г. Сурьянинов // Строительная механика и расчет сооружений. – Москва, 2013. – № 6. – С. 22 – 29.
8. Сологуб А.В. SolidWorks 2007: технология трехмерного моделирования/ А.В. Соллогуб, З.А.Сабирова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007.–1040с.
9. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 445 с.