

Крупа Є. С., Рєзва К. С.



ТЕХНОЛОГІЇ САПР У  
ГІДРОМАШИНОБУДУВАННІ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Є. С. Крупа, К. С. Рєзва

## **ТЕХНОЛОГІЇ САПР У ГІДРОМАШИНОБУДУВАННІ**

Навчальний посібник  
для студентів спеціальності  
145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою НТУ «ХПІ»,  
протокол № 1 від 13.02.2025 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2025

УДК 621.22

КЗ

Рецензенти:

*М. П. Шуляк*, д-р техн. наук, проф., Сумський національний аграрний університет;

*М. В. Колесніков*, канд. техн. наук, доц., Інститут

«Харківська школа архітектури»

**Крупа Є. С.**

КЗ Технології САПР у гідромашинобудуванні : навчальний посібник для студентів спеціальності 145 – Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика / Є. С. Крупа, К. С. Рєзва. – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – 339 с.

ISBN

У навчальному посібнику розглянуто використання сучасних систем автоматизованого проектування в гідромашинобудуванні. Описано принципи створення тривимірних моделей, методи проектування збірок, засоби проведення інженерного аналізу в SolidWorks Simulation, а також чисельне моделювання потоків у гідромашинах за допомогою Flow Simulation. Наведено практичні рекомендації щодо моделювання основних елементів проточної частини гідротурбін.

Структура посібника поєднує теоретичні основи з практичними завданнями, спрямованими на розвиток навичок роботи з CAD-системами у гідроенергетичному проектуванні.

Призначено для студентів спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» та може бути корисним інженерам, аспірантам і спеціалістам, які працюють у сфері машинобудування.

Іл. 366. Табл. 2. Бібліогр. 10 назв.

УДК 621.22

ISBN

© Крупа Є. С., Рєзва К. С., 2025

© НТУ «ХПІ», 2025

## ЗМІСТ

### Вступ

|      |                                                                              |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1    | ВВЕДЕННЯ В САПР ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ..... | 6  |
| 1.1  | Вступ .....                                                                  | 6  |
| 1.2  | Основні CAD-програми в інженерному проектуванні .....                        | 8  |
| 1.3  | Роль CAD у проектуванні гідроенергетичних систем .....                       | 13 |
| 1.4  | Використання CAD у створенні гідротурбін і оборотних гідромашин .....        | 15 |
| 1.5  | Перспективи використання CAD у гідроенергетиці .....                         | 17 |
| 2    | ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ В САПР (CAD) .....                       | 21 |
| 2.1  | Вступ .....                                                                  | 21 |
| 2.2  | Процес створення тривимірних моделей .....                                   | 23 |
| 2.3  | Моделювання елементів гідротурбін у CAD .....                                | 25 |
| 2.4  | Типові помилки при моделюванні та їх уникнення .....                         | 30 |
| 3    | МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В САПР .....                                              | 33 |
| 3.1  | Вступ .....                                                                  | 33 |
| 3.2  | Математичні моделі в гідромашинах .....                                      | 35 |
| 3.3  | Етапи створення математичних моделей у CAD .....                             | 39 |
| 3.4  | Інструменти та програмні засоби для математичного моделювання..              | 42 |
| 3.5  | Проблеми та обмеження математичних моделей у CAD .....                       | 44 |
| 3.6  | Перспективи вдосконалення математичних моделей .....                         | 47 |
| 4    | ГРАФІЧНІ МОЖЛИВОСТІ САПР .....                                               | 51 |
| 4.1  | Вступ до SolidWorks .....                                                    | 51 |
| 4.2  | Режим Деталь (Part) .....                                                    | 52 |
| 4.3  | Режим Збірка (Assembly) .....                                                | 53 |
| 4.4  | Режим Креслення (Drawing) .....                                              | 54 |
| 4.5  | Системні вимоги .....                                                        | 54 |
| 4.6  | Початок роботи із SolidWorks .....                                           | 55 |
| 4.7  | Рядок меню та меню SolidWorks .....                                          | 59 |
| 4.8  | Панель команд (CommandManager) .....                                         | 59 |
| 4.9  | Панелі інструментів (Toolbar) .....                                          | 65 |
| 4.10 | Жести миші (Mouse Gestures) .....                                            | 67 |
| 4.11 | Стандарти розмірів і одиниці вимірювання .....                               | 69 |



|      |                                                                                               |     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.12 | Важливі терміни та їх визначення .....                                                        | 69  |
| 4.13 | Опція автоматичного збереження (Auto-backup option) .....                                     | 79  |
| 4.14 | Вибір прихованих елементів .....                                                              | 80  |
| 4.15 | Гарячі клавіші (Hot keys) .....                                                               | 80  |
| 4.16 | Кольорова схема (Color scheme) .....                                                          | 82  |
| 5    | ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ПРОСУНУТОГО МОДЕЛЮВАННЯ В SOLIDWORKS .....                                    | 84  |
| 5.1  | Проектування деталі з використанням інструментів для<br>просунутого моделювання .....         | 84  |
|      | Завдання 1 .....                                                                              | 84  |
| 5.2  | Створення перерізів та декоративної різьби моделі .....                                       | 104 |
|      | Завдання 2 .....                                                                              | 104 |
| 5.3  | Створення геометрії шляхом видавлювання вибраних контурів .....                               | 113 |
|      | Завдання 3 .....                                                                              | 113 |
|      | Практичне завдання 1 .....                                                                    | 124 |
|      | Практичне завдання 2 .....                                                                    | 125 |
| 6    | РОЗШИРЕНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ В SOLIDWORKS .....                                               | 126 |
| 6.1  | Створення моделей з тонкостінною структурою .....                                             | 126 |
|      | Завдання 1 .....                                                                              | 126 |
| 6.2  | Створення моделей з використанням інструменту Swept Boss/Base<br>та тривимірних ескізів ..... | 134 |
|      | Завдання 2 .....                                                                              | 134 |
|      | Завдання 3 .....                                                                              | 138 |
|      | Завдання 4 .....                                                                              | 144 |
| 6.3  | Побудова моделей з використанням інструменту Lofted Boss/Base<br>(Тіло по перетинам) .....    | 149 |
|      | Завдання 5 .....                                                                              | 149 |
|      | Завдання 6 .....                                                                              | 157 |
|      | Практичне завдання 1 .....                                                                    | 165 |
|      | Практичне завдання 2 .....                                                                    | 166 |
| 7    | ПОБУДОВА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОТОЧНОЇ<br>ЧАСТИНИ ГІДРОТУРБІН .....                 | 168 |
| 7.1  | Побудова тривимірної моделі спіральної камери гідротурбіни .....                              | 169 |
| 7.2  | Побудова тривимірної моделі робочого колеса гідротурбіни .....                                | 175 |
| 7.3  | Побудова тривимірної моделі відсмоктуючої труби гідротурбіни...                               | 179 |
| 8    | МОДЕЛЮВАННЯ ЗБІРОК .....                                                                      | 186 |
| 8.1  | Вступ .....                                                                                   | 186 |

|      |                                                                                                    |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2  | Початок роботи зі збірками у режимі Assembly .....                                                 | 186 |
| 8.3  | Створення збірок "знизу вгору" .....                                                               | 189 |
|      | Завдання 1 .....                                                                                   | 189 |
| 8.4  | Створення підзбірок та рознесеного виду збірки .....                                               | 209 |
|      | Завдання 2 .....                                                                                   | 209 |
|      | Практичне завдання .....                                                                           | 225 |
| 9    | ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ НА МІЦНІСТЬ ЗА ДОПОМОГОЮ CAD/CAE .....                                      | 229 |
| 9.1  | Вступ .....                                                                                        | 229 |
| 9.2  | Початок роботи з SOLIDWORKS Simulation .....                                                       | 229 |
| 9.3  | Статичні дослідження у SOLIDWORKS Simulation .....                                                 | 231 |
|      | Завдання 1 .....                                                                                   | 231 |
|      | Завдання 2 .....                                                                                   | 246 |
|      | Завдання 3 .....                                                                                   | 251 |
|      | Практичне завдання .....                                                                           | 263 |
| 10   | ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОТОКУ В ГІДРОМАШИНАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМИ FLOW SIMULATION.. | 265 |
| 10.1 | Вступ .....                                                                                        | 265 |
| 10.2 | Особливості застосування Flow Simulation у гідромашинах .....                                      | 266 |
| 10.3 | Чисельне моделювання потоку у відсмоктуючій трубі гідротурбіни за допомогою Flow Simulation .....  | 269 |
|      | Завдання 1 .....                                                                                   | 269 |
| 10.4 | Висновки .....                                                                                     | 302 |
|      | Практичне завдання .....                                                                           | 304 |
| 11   | РОБОТА З КРЕСЛЕННЯМИ .....                                                                         | 305 |
| 11.1 | Вступ .....                                                                                        | 305 |
| 11.2 | Початок роботи з кресленнями у програмі SolidWorks .....                                           | 305 |
| 11.3 | Створення креслень у програмі SolidWorks .....                                                     | 306 |
|      | Завдання 1 .....                                                                                   | 306 |
| 11.4 | Створення креслень збірок та додавання специфікацій .....                                          | 316 |
|      | Завдання 2 .....                                                                                   | 316 |
|      | Завдання 3 .....                                                                                   | 329 |
|      | Практичне завдання .....                                                                           | 337 |
|      | Список джерел інформації.....                                                                      | 338 |



# **1 ВВЕДЕННЯ В САПР ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ПРОЕКТУВАННІ**

## **1. 1 Вступ**

### **1.1.1 Значення сучасних технологій автоматизованого проектування**

Сучасні технології автоматизованого проектування (САПР, CAD – Computer-Aided Design) є фундаментальними інструментами у багатьох інженерних галузях, зокрема в гідроенергетиці. Вони забезпечують можливість створювати високоточні креслення, тривимірні моделі, а також проводити складні інженерні аналізи. У процесі проектування гідротурбін, оборотних гідромашин, а також систем гідроелектростанцій, використання CAD дозволяє значно скоротити час на розробку, знизити витрати та покращити точність проектних рішень.

Однією з ключових переваг CAD-систем є інтеграція з іншими інженерними технологіями, такими як CAE (інженерний аналіз) та CAM (виробничі процеси). Це дає змогу забезпечити повний цикл розробки – від початкової ідеї до виготовлення продукту. Завдяки CAD інженери можуть візуалізувати складні конструкції, моделювати поведінку матеріалів під навантаженням, оцінювати аеродинамічні характеристики та багато іншого. У випадку гідроенергетичних проектів, ці технології відіграють ключову роль у створенні ефективних та надійних рішень для виробництва енергії з використанням водних ресурсів.

Автоматизація проектування також дозволяє знизити ризики помилок. Завдяки високій точності розрахунків і можливості перевірки кожного етапу розробки, CAD допомагає уникати помилок, які могли б виникнути при використанні традиційних методів креслення. Це особливо важливо в проектах, де помилки можуть призвести до значних фінансових втрат або ризиків для безпеки.

Сьогодні CAD-технології використовуються не лише для проектування нових об'єктів, а й для модернізації існуючих систем. З їх допомогою інженери

можуть створювати цифрові близнюки – точні віртуальні моделі фізичних об'єктів, що дозволяє проводити аналіз ефективності та прогнозувати поведінку систем в реальних умовах.

### **1.1.2 Історія розвитку CAD-технологій**

Розвиток автоматизованого проектування розпочався у 1960-х роках, коли інженери почали шукати способи автоматизації процесу креслення. Перші CAD-системи були надзвичайно простими порівняно із сучасними, і їх основною функцією було створення двовимірних креслень. Однією з перших комерційних CAD-програм стала система Sketchpad, розроблена у 1963 році Іваном Сазерлендом. Вона була новаторською на той час, оскільки дозволяла користувачам взаємодіяти з комп'ютером за допомогою графічного дисплея та світлового пера.

У 1970-х і 1980-х роках розвиток CAD продовжився завдяки впровадженню потужніших комп'ютерів. У цей період з'явилися такі системи, як AutoCAD, які зробили автоматизоване проектування доступним для більш широкого кола користувачів. AutoCAD став однією з найпопулярніших CAD-програм завдяки зручному інтерфейсу та багатому функціоналу.

Поява тривимірного моделювання у 1990-х роках стала важливим етапом у розвитку CAD-технологій. Програми, такі як SolidWorks та CATIA, запропонували інженерам можливість створювати 3D-моделі, що значно розширило можливості проектування. Тривимірне моделювання дозволило більш детально опрацьовувати конструкції, а також проводити аналіз взаємодії компонентів ще на стадії розробки.

Сьогодні CAD-системи інтегруються з хмарними платформами, що забезпечує доступ до проектів з будь-якого місця, а також співпрацю між командами у реальному часі. Впровадження технологій штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизації рутинних завдань та оптимізації проектних рішень.

Таким чином, CAD-технології пройшли довгий шлях розвитку – від простих двовимірних креслень до складних інтегрованих систем, які змінюють спосіб роботи інженерів у всьому світі. Їх вплив на гідроенергетику вже зараз є величезним, і в майбутньому ці технології стануть ще більш важливими для забезпечення ефективного проектування та реалізації інженерних рішень.

## **1.2 Основні CAD-програми в інженерному проектуванні**

У сучасному інженерному проектуванні використовується широкий спектр CAD-програм, кожна з яких має унікальні особливості та призначення. Ці програми дозволяють інженерам створювати креслення, 3D-моделі, проводити інженерний аналіз та інтегрувати результати в загальний цикл проектування. У цьому розділі розглянемо найбільш популярні CAD-програми: SolidWorks, Autodesk Inventor, Siemens NX і CATIA, а також їхню роль у проектуванні гідроенергетичних об'єктів.

### **1.2.1 SolidWorks**

SolidWorks – одна з найбільш відомих CAD-систем, створена для проектування деталей, вузлів і складних механізмів. Її розробником є компанія Dassault Systèmes. Програма набула популярності завдяки зручному інтерфейсу, потужним інструментам для моделювання та можливостям проведення аналізу (рис. 1.1).

Особливості SolidWorks:

- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє швидко опанувати програму навіть новачкам.
- Підтримка параметричного моделювання, що дає змогу створювати адаптивні конструкції.
- Інтеграція з інструментами для аналізу (SolidWorks Simulation), що дозволяє проводити розрахунки міцності, аерогідродинамічні тести та інші види інженерного аналізу.



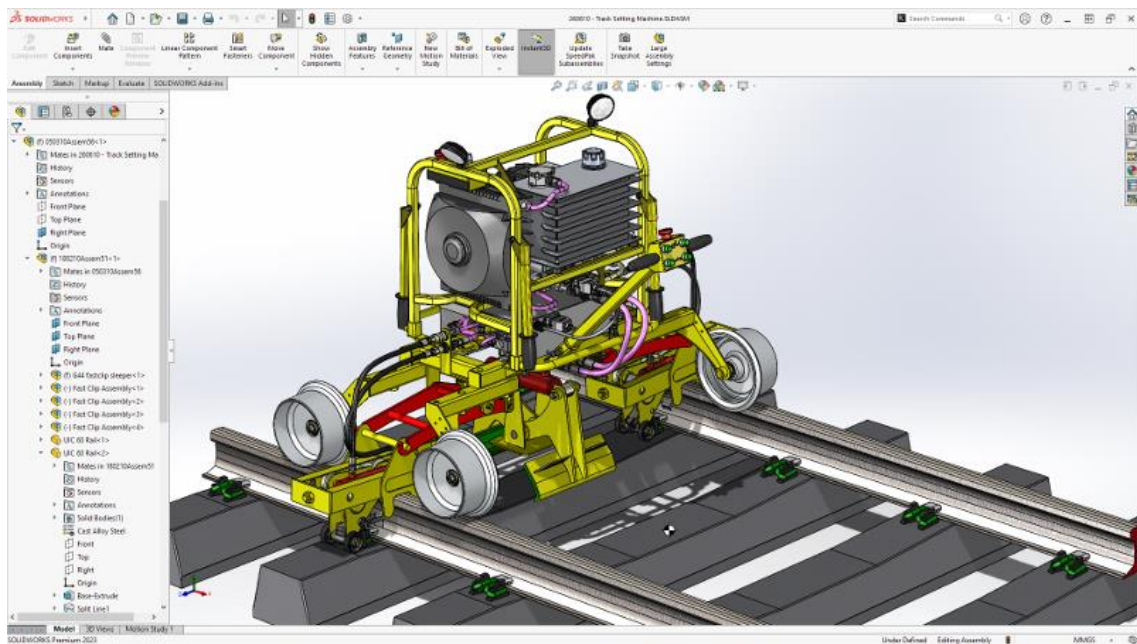


Рисунок 1.1 – Інтерфейс SolidWorks

У гідроенергетичному проектуванні SolidWorks активно використовується для створення тривимірних моделей деталей гідротурбін та оборотних гідромашин. Завдяки можливостям симуляції, можна проводити перевірку конструкцій ще на етапі проектування, оптимізуючи геометрію для підвищення ефективності роботи механізмів.

### 1.2.2 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor є ще одним популярним рішенням для тривимірного проектування. Ця програма, розроблена компанією Autodesk, відома своїми широкими можливостями для створення 3D-моделей та інженерного аналізу (рис. 1.2).

Особливості Autodesk Inventor:

- Підтримка генеративного дизайну, який дозволяє автоматично створювати оптимальні конструкції.
- Інтеграція з іншими продуктами Autodesk, зокрема AutoCAD, що спрощує передачу даних між різними етапами проектування.
- Інструменти для анімації збірок, які допомагають візуалізувати роботу механізмів.

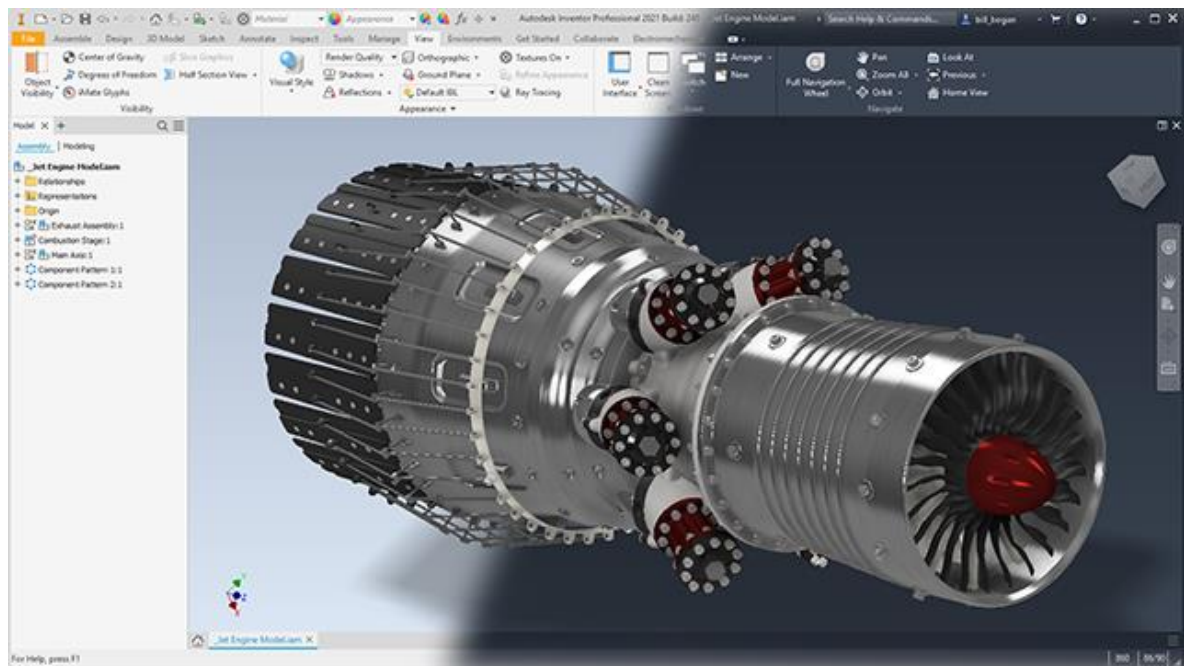


Рисунок 1.2 – Інтерфейс Autodesk Inventor

У контексті гідроенергетики Autodesk Inventor використовується для створення складних збірок гідромашин, таких як робочі колеса, корпуси та інші елементи гідротурбін. Завдяки підтримці анімацій та симуляцій, ця програма дозволяє інженерам оцінювати динаміку роботи систем, зокрема взаємодію потоків води з конструктивними елементами.

### 1.2.3 Siemens NX

Siemens NX – це потужна CAD-система, яка поєднує в собі можливості проектування, інженерного аналізу та управління даними про продукт. Вона широко використовується в промисловості для створення високотехнологічних рішень (рис. 1.3).

Особливості Siemens NX:

- Розширені можливості для моделювання складних форм і поверхонь.
- Інтеграція з PLM-системами (управління життєвим циклом продукту).
- Наявність інструментів для мультифізичного аналізу, які дозволяють враховувати взаємодію різних фізичних явищ, наприклад, аеродинаміки та теплопередачі.

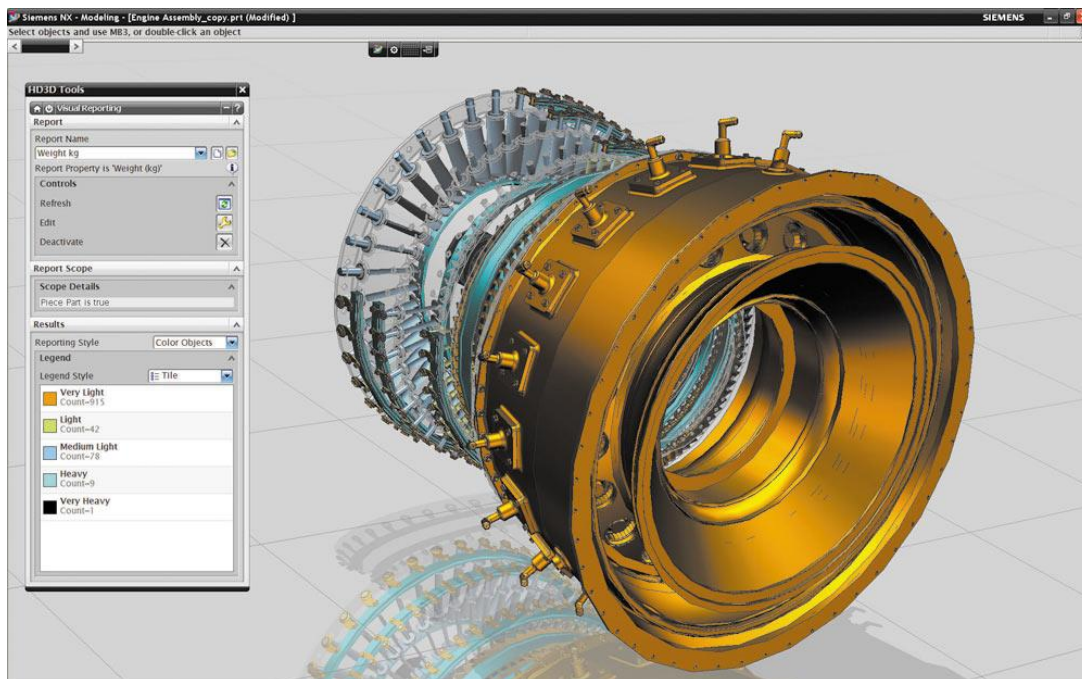


Рисунок 1.3 – Інтерфейс Siemens NX

У гідроенергетичному проектуванні Siemens NX використовується для створення високоточних моделей гідротурбін, які потребують комплексного аналізу. Наприклад, програма дозволяє моделювати деформації лопатей турбіни під впливом гідродинамічного навантаження.

### 1.2.4 CATIA

CATIA – ще один продукт компанії Dassault Systèmes, розроблений для складних інженерних проектів. Програма використовується в багатьох галузях, зокрема в авіації, автомобілебудуванні та енергетиці (рис. 1.4).

Особливості CATIA:

- Підтримка комплексного моделювання багатокomпонентних систем.
- Інструменти для аеродинамічного та гідродинамічного аналізу.
- Можливість співпраці між командами завдяки хмарним технологіям.

CATIA має значний потенціал у гідроенергетиці завдяки своїм можливостям для моделювання складних форм та збірок. Програма також використовується для оптимізації конструкцій з метою зменшення втрат енергії.

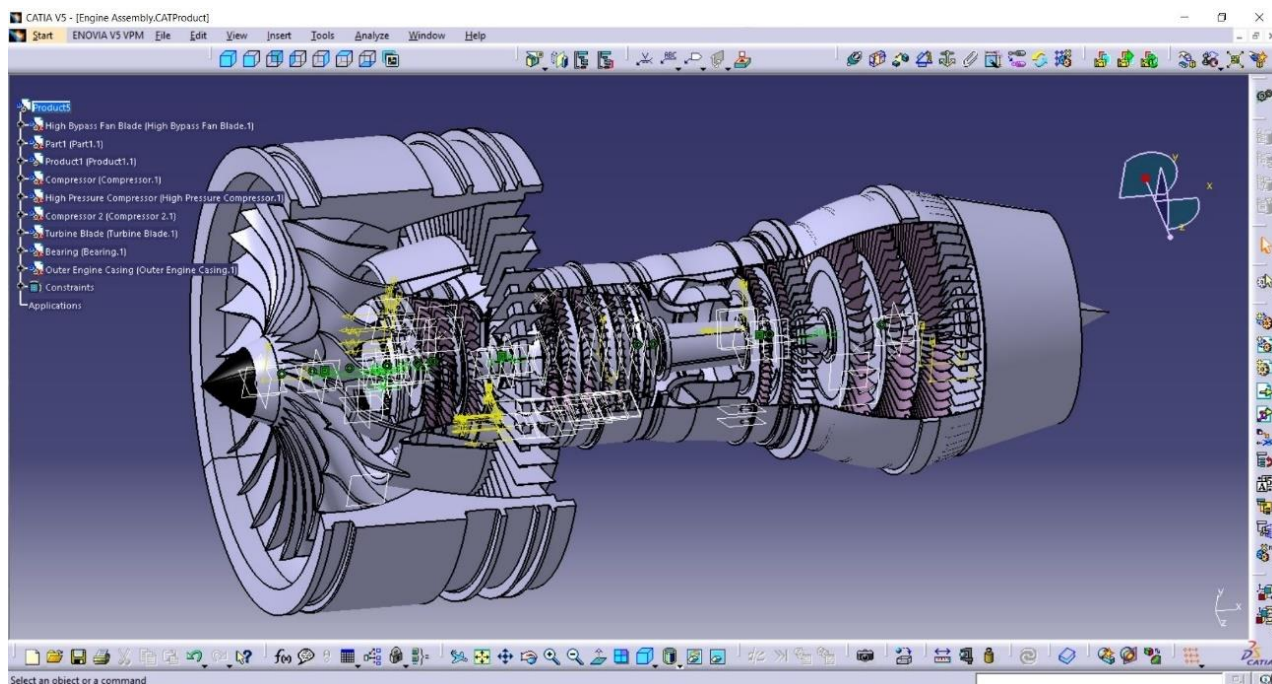


Рисунок 1.4 – Інтерфейс CATIA

### 1.2.5 Порівняння CAD-програм

Кожна з розглянутих програм має свої переваги, які роблять її корисною для певних завдань. SolidWorks і Autodesk Inventor є чудовими варіантами для невеликих проектів, які потребують швидкого прототипування. Siemens NX та CATIA підходять для масштабних проектів, що вимагають детального аналізу та моделювання складних систем.

У гідроенергетиці ці програми дозволяють вирішувати низку завдань:

- Моделювання деталей та вузлів гідротурбін.
- Аналіз міцності та ефективності конструкцій.
- Оптимізація конструкцій для підвищення енергоефективності.
- Візуалізація роботи механізмів для покращення розуміння динаміки систем.

Сучасні CAD-програми відіграють ключову роль у проектуванні гідроенергетичних об'єктів, забезпечуючи інженерів потужними інструментами для створення надійних і ефективних систем. Вибір програми залежить від специфіки проекту, але в будь-якому випадку їх використання значно підвищує якість і швидкість розробки.



### **1.3 Роль CAD у проектуванні гідроенергетичних систем**

#### **1.3.1 Основні етапи проектування за допомогою CAD**

Сучасні технології автоматизованого проектування (CAD) є невід'ємною частиною розробки гідроенергетичних систем. Процес проектування за допомогою CAD проходить кілька ключових етапів, кожен із яких сприяє створенню ефективного, надійного та економічного продукту.

**1. Концептуальне проектування.** На цьому етапі формуються основні вимоги до майбутньої системи. Використання CAD дозволяє швидко створювати ескізи та концептуальні моделі, які демонструють базову ідею конструкції. Інструменти, такі як Sketch у SolidWorks, допомагають візуалізувати ідеї, визначати основні параметри та оцінювати можливість реалізації.

**2. Розробка тривимірної моделі.** Після затвердження концепції інженери переходять до створення детальних 3D-моделей. Цей етап включає проектування окремих компонентів, таких як лопаті гідротурбін, корпуси чи вали. Програми, такі як SolidWorks, Siemens NX або CATIA, надають інструменти для створення високоточних моделей, що враховують усі технічні вимоги.

**3. Аналіз і оптимізація.** Моделі, створені у CAD, піддаються різним видам аналізу, зокрема структурному, тепловому, аерогідродинамічному тощо. Інтеграція з CAE (Computer-Aided Engineering) дозволяє перевіряти міцність конструкцій, аналізувати потоки рідини чи повітря та визначати оптимальні параметри роботи (рис. 1.5).

**4. Підготовка виробничих креслень.** Після завершення моделювання та аналізу CAD-програми генерують креслення для виробництва. Ці креслення містять точні розміри, допуски та інші технічні дані, необхідні для виготовлення компонентів.

**5. Прототипування та тестування.** Використовуючи дані з CAD, створюються фізичні або віртуальні прототипи. Технології 3D-друку або віртуальної реальності дозволяють перевіряти конструкції до їх масового виробництва.

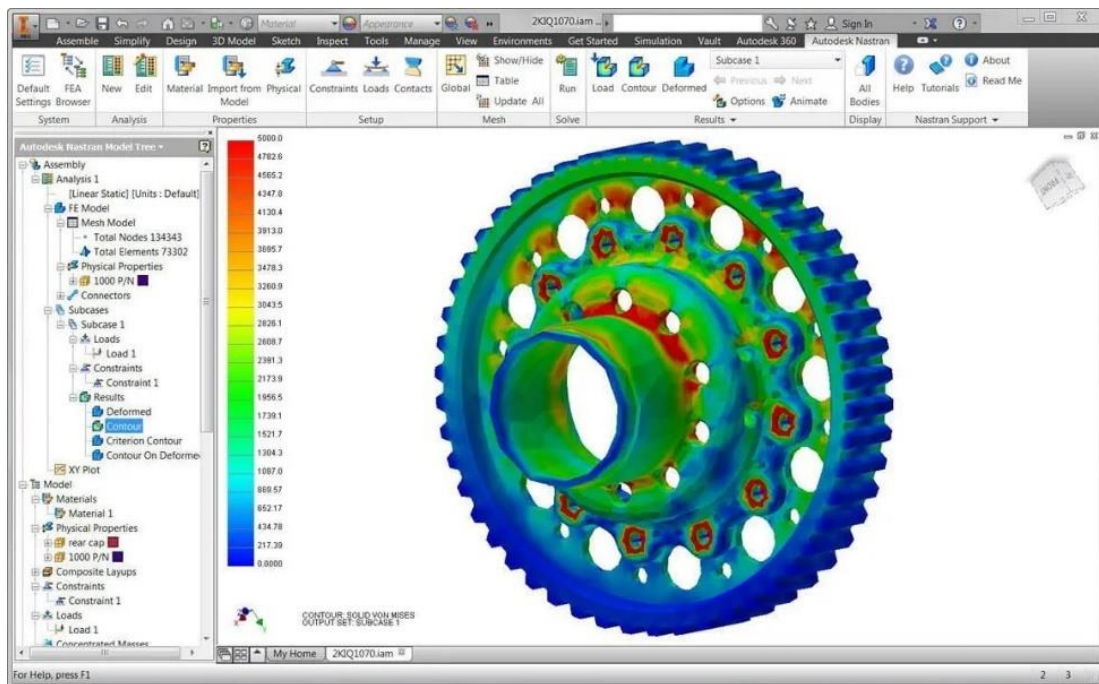


Рисунок 1.5 – Аналіз конструкції з використанням САЕ

**6. Виробництво та впровадження.** Завершальним етапом є виготовлення компонентів і їх монтаж. CAD-технології інтегруються з САМ (Computer-Aided Manufacturing), що забезпечує автоматизацію виробничих процесів і підвищує точність виготовлення (рис. 1.6).

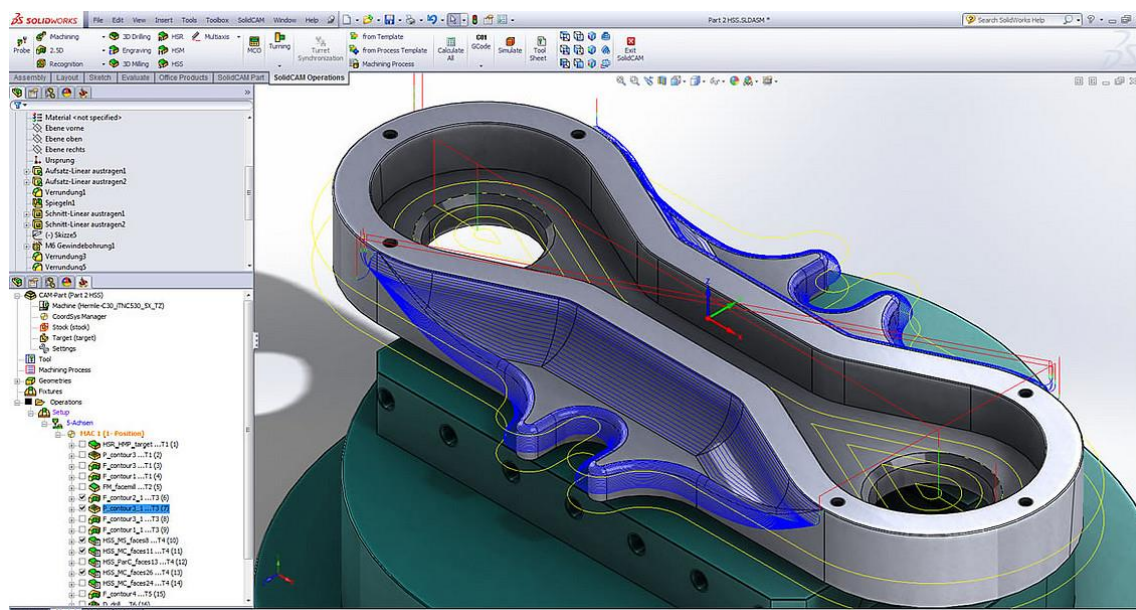


Рисунок 1.6 – Використання САМ технологій

### 1.3.2 Зв'язок CAD із CAE та CAM технологіями

Інтеграція CAD із CAE та CAM створює єдиний цифровий ланцюг проектування, аналізу та виробництва.

- **CAE (Computer-Aided Engineering).** Використовується для аналізу та оптимізації конструкцій. Наприклад, результати CFD (Computational Fluid Dynamics) аналізу дозволяють визначити, як рідина рухається через гідротурбину, і оптимізувати її форму для досягнення максимальної ефективності.

- **CAM (Computer-Aided Manufacturing).** Забезпечує автоматизацію виробничих процесів. Після створення 3D-моделі у CAD програма генерує коди для верстатів із ЧПК (числовим програмним керуванням), що значно скорочує час виробництва та знижує ризик помилок.

## 1.4 Використання CAD у створенні гідротурбін і оборотних гідромашин

### 1.4.1 Тривимірне моделювання складних форм

Тривимірне моделювання є ключовим етапом у проектуванні гідротурбін та оборотних гідромашин. Використання CAD-систем дозволяє створювати точні 3D-моделі складних конструкцій, враховуючи специфічні вимоги до їхньої геометрії, матеріалів та функціональності.

Одним із найважливіших завдань у проектуванні гідротурбін є розробка лопатей, які мають складну просторову форму. Ці елементи повинні забезпечувати ефективну передачу енергії від потоку рідини до механічної системи. Програми, такі як SolidWorks та Siemens NX, надають інструменти для параметричного моделювання, що дозволяє точно налаштовувати кривизну, товщину та інші характеристики лопатей залежно від умов експлуатації.

Крім лопатей, складні форми мають також спіральні камери турбін, відсмоктуючі труби та інші елементи. Завдяки CAD-системам можна створювати інтегровані моделі, які враховують взаємодію між різними компонентами системи. Наприклад, у програмі CATIA є модулі для багатокomпонентного

моделювання, що дозволяє відтворювати взаємодію рідинного потоку з механічними частинами.

Тривимірне моделювання також забезпечує можливість швидкого внесення змін до проекту. Якщо під час аналізу чи тестування виявляються недоліки конструкції, проектувальники можуть оперативно внести корективи, не починаючи проект заново. Це значно скорочує час розробки та підвищує точність.

#### **1.4.2 Проведення структурного аналізу та аерогідродинамічних розрахунків**

Після створення 3D-моделі важливим етапом є проведення структурного аналізу та аерогідродинамічних розрахунків. Ці процеси спрямовані на перевірку надійності конструкції та її ефективності в реальних умовах експлуатації.

**1. Структурний аналіз.** Цей тип аналізу дозволяє визначити, як конструкція реагуватиме на різні навантаження, зокрема механічні, теплові чи вібраційні. Наприклад, у гідротурбінах лопаті піддаються значному тиску води та відцентровим силам. Використовуючи модулі для аналізу напружень у ANSYS або SolidWorks Simulation, інженери можуть ідентифікувати найбільш навантажені зони конструкції та оптимізувати їх.

**2. Аерогідродинамічні розрахунки.** Для забезпечення максимальної ефективності гідротурбіни важливо, щоб потік рідини через її компоненти був оптимальним. Програми, такі як ANSYS Fluent або Autodesk CFD, дозволяють проводити симуляції потоків рідини та аналізувати такі параметри, як швидкість, тиск і турбулентність.

**3. Комплексний підхід.** Сучасні CAD-системи дозволяють інтегрувати структурний аналіз та аерогідродинамічні розрахунки в одному середовищі. Це забезпечує більш точні результати та знижує ймовірність помилок. Наприклад, у Siemens NX можливо одночасно аналізувати механічні та гідродинамічні характеристики конструкції, що значно спрощує процес оптимізації.



### **1.4.3 Переваги CAD у підвищенні ефективності проектів**

Використання CAD у проектуванні гідротурбін та оборотних гідромашин має низку переваг, які значно підвищують ефективність проектів:

1. **Скорочення часу розробки.** Завдяки автоматизації багатьох процесів, таких як генерація креслень, аналіз конструкцій та підготовка даних для виробництва, час на розробку значно скорочується. Наприклад, використання бібліотек стандартних компонентів у SolidWorks дозволяє швидко додавати до проекту типові елементи, такі як підшипники чи з'єднання.

2. **Підвищення точності.** CAD-системи забезпечують високу точність у моделюванні та аналізі. Це знижує ризик помилок, які можуть виникнути через людський фактор, і підвищує якість кінцевого продукту.

3. **Оптимізація ресурсів.** Завдяки інтеграції з CAE-системами інженери можуть оптимізувати використання матеріалів. Наприклад, аналіз напружень дозволяє визначити, де можна зменшити товщину стінок конструкції без втрати міцності, що знижує вартість виготовлення.

4. **Можливість тестування віртуальних прототипів.** Віртуальне прототипування дозволяє тестувати конструкцію в умовах, максимально наближених до реальних, ще до початку виробництва. Це знижує витрати на створення фізичних прототипів і прискорює процес впровадження нових технологій.

5. **Інтеграція з іншими системами.** CAD-системи легко інтегруються з CAM та PDM (Product Data Management) системами, що забезпечує безперервність процесу від проектування до виробництва. Наприклад, після завершення проекту у SolidWorks можна автоматично створити програму для верстата з ЧПК, що мінімізує ручну роботу.

## **1.5 Перспективи використання CAD у гідроенергетиці**

### **1.5.1 Інновації у CAD-технологіях**

Сучасний розвиток CAD-технологій відкриває нові горизонти для проектування в гідроенергетиці. Інновації спрямовані на покращення точності

моделювання, автоматизацію процесів та інтеграцію з іншими інженерними системами. Одним із головних напрямів є впровадження генеративного дизайну. Ця технологія дозволяє створювати оптимальні конструкції, які відповідають заданим критеріям, таких як максимальна ефективність або мінімальна маса. Генеративний дизайн активно використовується для створення нестандартних форм лопатей гідротурбін, які забезпечують кращу взаємодію з потоком води.

Ще однією інновацією є розширена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR), які стають частиною сучасних CAD-систем. Наприклад, за допомогою VR інженери можуть віртуально оглянути 3D-модель гідроелектростанції, оцінити її масштабність і виявити потенційні проблеми ще на етапі проектування. Це особливо корисно для великих проектів, таких як дамби або системи міні-ГЕС, де візуалізація допомагає уникнути помилок у плануванні.

Додатково, розвиток адитивного виробництва (3D-друку) значно впливає на функціонал CAD-систем. Інтеграція модулів для підготовки моделей до 3D-друку дозволяє швидко створювати фізичні прототипи гідротурбін або їхніх компонентів. Це спрощує тестування нових рішень і скорочує час від розробки до впровадження.

Важливою інновацією є автоматизація процесу створення креслень. Нові версії CAD-програм, такі як Autodesk Inventor або SolidWorks, можуть автоматично генерувати детальні креслення з 3D-моделей, включаючи розміри, допуски та інші технічні параметри. Це значно знижує навантаження на інженерів і дозволяє зосередитися на творчих аспектах проектування.

### **1.5.2 Використання хмарних технологій та AI для оптимізації проектування**

Хмарні технології кардинально змінюють підхід до використання CAD у гідроенергетиці. Перехід до хмарних платформ, таких як Autodesk Fusion 360, забезпечує доступ до проектів з будь-якої точки світу, що особливо важливо для великих міжнародних команд. У контексті гідроенергетики це дозволяє

інженерам, розробникам і виробникам працювати над спільними проектами, синхронізуючи зміни в реальному часі.

Окрім доступності, хмарні технології забезпечують потужні обчислювальні ресурси, які потрібні для складних симуляцій. Наприклад, аналіз турбулентності потоку води через гідротурбіну або оптимізація форми компонентів можуть вимагати значних обчислювальних потужностей. Хмарні обчислення дозволяють виконувати такі завдання швидше, ніж це можливо на локальних машинах.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання стають невід'ємною частиною сучасних CAD-систем. У гідроенергетиці ШІ використовується для автоматизації рутинних завдань, таких як оптимізація конструкцій, вибір матеріалів або аналіз ефективності. Наприклад, ШІ може автоматично пропонувати зміни до проекту лопатей гідротурбіни, базуючись на результатах попередніх симуляцій.

ШІ також сприяє впровадженню концепції цифрових двійників. Цифровий двійник – це віртуальна копія фізичної системи, яка дозволяє проводити симуляції та аналіз у режимі реального часу. У гідроенергетиці цифрові двійники можуть використовуватися для моніторингу стану гідротурбін і прогнозування їхнього зносу. Це дає змогу своєчасно виявляти проблеми та запобігати аваріям.

Хмарні платформи та ШІ також сприяють розвитку колаборативного проектування. Дослідники з різних спеціалізацій можуть працювати над одним проектом у режимі реального часу, обмінюючись даними та ідеями. Наприклад, під час проектування нової міні-ГЕС команда може одночасно працювати над моделлю турбіни, системою водопостачання та електрогенераторами. Це підвищує ефективність та знижує ризик помилок через несумісність компонентів.

Інновації у CAD-технологіях, хмарні обчислення та штучний інтелект суттєво змінюють підхід до проектування в гідроенергетиці. Вони забезпечують нові можливості для оптимізації процесів, підвищення ефективності та зниження

витрат. У майбутньому ці технології стануть основою для створення інтелектуальних, адаптивних і екологічно безпечних гідроенергетичних систем.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке САПР (CAD), і які основні переваги їх використання в інженерних проектах?
2. Як інтеграція CAD-систем із CAE і CAM впливає на ефективність проектування?
3. У чому полягає основна роль CAD-технологій у створенні гідроенергетичних об'єктів?
4. Які основні функції SolidWorks і чому вона є популярною для проектування деталей і вузлів?
5. Як використання Autodesk Inventor полегшує моделювання складних збірок у гідроенергетиці?
6. Які переваги надає Siemens NX для моделювання складних форм і поверхонь?
7. Як CATIA забезпечує оптимізацію конструкцій і підтримку багатокомпонентного моделювання?
8. Які етапи включає процес проектування гідроенергетичних систем із використанням CAD?
9. Які особливості слід враховувати під час вибору CAD-системи для проектування гідротурбін та інших компонентів ГЕС?
10. Як хмарні технології та штучний інтелект змінюють підхід до використання CAD у гідроенергетиці?



## **2 ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ В САПР (CAD)**

### **2.1 Вступ**

#### **2.1.1 Роль тривимірного моделювання у сучасному проектуванні**

Тривимірне (3D) моделювання революціонізувало сучасне інженерне проектування, надаючи точні, універсальні та ефективні інструменти для створення та візуалізації складних систем. У минулому інженери значною мірою покладалися на двовимірні (2D) креслення та фізичні прототипи, що часто призводило до неефективності і підвищення витрат на виробництво. Сьогодні 3D моделювання є основою сучасних процесів проектування, дозволяючи інженерам візуалізувати концепції, моделювати реальні умови та оптимізувати вироби до початку фізичного виробництва.

Значення 3D моделювання поширюється на різні галузі, включаючи архітектуру, автомобілебудування, авіацію та гідроенергетику. Завдяки можливості створення детальних віртуальних моделей компонентів і збірок, 3D моделювання гарантує, що конструкції відповідають функціональним і експлуатаційним вимогам. У гідроенергетиці, наприклад, 3D моделювання дозволяє точно налаштовувати лопаті турбін, спіральні камери та інші компоненти, забезпечуючи оптимальну динаміку потоку та енергоефективність.

Крім того, 3D моделювання підвищує рівень співпраці в командах і між різними дисциплінами. Інтеграція даних у єдине цифрове середовище забезпечує безперебійну комунікацію між командами з проектування, аналізу та виробництва. Такий інтегрований підхід мінімізує помилки, зменшує дублювання робіт і пришвидшує терміни виконання проектів.

#### **2.1.2 Основні принципи 3D моделювання**

Процес 3D моделювання базується на фундаментальних принципах, які гарантують створення точних і функціональних моделей.

##### ***1. Параметричний дизайн***

Параметричне моделювання є основним принципом у 3D проектуванні, що дозволяє задавати взаємозв'язки між різними елементами моделі. Параметри,

такі як розміри, кути та обмеження, можуть динамічно коригуватися, що гарантує автоматичне оновлення пов'язаних компонентів при внесенні змін.

## ***2. Точність і детальність***

Головна мета 3D моделювання – створення максимально точних і деталізованих об'єктів. Сучасне CAD-програмне забезпечення пропонує інструменти для визначення точних розмірів, допусків і геометричних параметрів, що забезпечує відповідність проекту технічним вимогам.

## ***3. Масштабованість***

3D моделі є масштабованими, що дозволяє адаптувати конструкції для різних розмірів або вимог до продуктивності. Це особливо важливо у гідроенергетиці, де турбіни та інші компоненти часто налаштовуються під конкретні умови проекту.

## ***4. Реалізм і симуляція***

Сучасне 3D моделювання інтегрує інструменти реалістичної візуалізації та симуляції, які імітують реальні умови. Це включає в себе використання матеріалів, текстур, освітлення та факторів навколишнього середовища, що дає змогу оцінити, як продукт працюватиме в реальних умовах.

### **2.1.3 Переваги 3D моделювання**

Використання 3D моделювання принесло численні переваги, змінивши підхід до проектування та виробництва.

#### ***1. Покращена візуалізація***

3D моделювання дозволяє створювати реалістичні зображення об'єктів, забезпечуючи повне уявлення про конструкцію з будь-якого ракурсу. Це допомагає оцінити загальний вигляд, функціональність і практичність ще до початку виробництва.

#### ***2. Вища точність проектування***

Точність 3D моделювання мінімізує помилки та забезпечує відповідність конструкцій технічним вимогам.

### ***3. Оптимізація прототипування***

Віртуальне прототипування знижує потребу в створенні численних фізичних прототипів, економлячи час і ресурси.

### ***4. Економія часу та ресурсів***

Завдяки зменшенню кількості помилок, усуненню зайвих процесів і оптимізації прототипування, 3D моделювання значно знижує виробничі витрати та скорочує терміни виконання проектів.

### ***5. Покращена співпраця***

3D моделі виступають у ролі спільного цифрового активу, доступного для редагування різними учасниками команди в різних локаціях, що забезпечує узгодженість дій на всіх етапах проекту.

### ***6. Інтеграція з інструментами аналізу***

Сучасне CAD-програмне забезпечення легко інтегрується з інструментами комп'ютерного інженерного аналізу (CAE), дозволяючи проводити структурний, тепловий або гідродинамічний аналіз безпосередньо на 3D-моделях.

### ***7. Підтримка сучасних методів виробництва***

3D моделі є необхідними для передових методів виробництва, таких як 3D-друк і ЧПК-обробка. Ці моделі забезпечують точні геометричні дані для виготовлення високоякісних компонентів із мінімальними відходами.

## **2.2 Процес створення тривимірних моделей**

### **2.2.1 Основні етапи моделювання в CAD**

Створення тривимірної моделі в CAD передбачає проходження кількох ключових етапів. Цей процес є систематичним і базується на інтеграції різних елементів, які забезпечують точність та відповідність кінцевого продукту технічним вимогам.

#### ***1. Концепція***

Перший етап у процесі моделювання – це розробка концепції. На цьому етапі визначаються основні вимоги до об'єкта, його функції, форми та габаритів. Концепція зазвичай базується на попередньо отриманих технічних завданнях, які

визначають межі дизайну. Інженери та дизайнери враховують такі аспекти, як матеріали, умови експлуатації та виробничі обмеження.

Концепція може включати ручні ескізи, аналітичні розрахунки або попередні 2D-креслення. Цей етап є основою для подальших етапів, адже він задає напрямок розробки та визначає цілі проекту.

## ***2. Ескізи***

Ескізування є наступним важливим етапом процесу моделювання. У CAD-програмному забезпеченні ескізи створюються у двовимірному просторі і є початковою точкою для розробки тривимірних моделей.

Ескізи дозволяють визначити контури об'єкта, задаючи його базову форму, розміри та пропорції. Важливими елементами ескізу є прямі, дуги, криві, точки та фігури, які можна параметризувати для подальшого використання.

Якісно створений ескіз є важливим, адже на його основі виконуються операції, які формують остаточну 3D-модель.

## ***3. Параметричне моделювання***

Однією з найсильніших сторін CAD-програм є можливість параметричного моделювання. Це підхід, при якому модель будується на основі параметрів та залежностей між елементами.

Параметричне моделювання дозволяє швидко змінювати розміри, пропорції або форми об'єкта без необхідності переробки всієї моделі.

Такий підхід також забезпечує гнучкість у роботі, дозволяючи адаптувати моделі до нових умов або оновлених технічних вимог. У гідроенергетиці параметричне моделювання є важливим інструментом для оптимізації форм компонентів конструкції, таких як лопаті турбін чи направляючі апарати.

### **2.2.2 Вибір підходів до моделювання**

У процесі створення тривимірних моделей у CAD інженери можуть використовувати різні підходи. Кожен із них має свої переваги та недоліки і обирається залежно від особливостей проекту.

## ***1. Поверхнєве моделювання***

Поверхнєве моделювання базується на створенні тонких оболонок або поверхонь, які формують зовнішню геометрію об'єкта. Цей підхід найчастіше застосовується у випадках, коли необхідно створити складні криволінійні форми, такі як аеродинамічні поверхні чи лопаті турбін.

Поверхнєве моделювання дозволяє досягати високого рівня деталізації та точності. У гідроенергетиці цей підхід корисний для оптимізації гідродинамічних характеристик компонентів, що контактують із водяним потоком. Однак, створені моделі не мають об'єму, тому для подальшого використання в аналізі їх часто перетворюють на твердотільні.

## ***2. Твердотільне моделювання***

Твердотільне моделювання передбачає створення повноцінних тривимірних об'єктів із об'ємом. Ці моделі мають фізичні властивості, такі як маса, центр тяжіння та інерційні характеристики, що робить їх придатними для аналізу та виготовлення.

Твердотільне моделювання є найбільш поширеним підходом у CAD завдяки його універсальності. Воно використовується для створення більшості інженерних компонентів, від простих деталей до складних збірок.

## ***3. Гібридне моделювання***

Гібридне моделювання поєднує елементи поверхневого та твердотільного підходів. Цей метод дозволяє розробляти складні геометрії з деталізацією поверхонь та об'ємом для аналізу.

### **2.3 Моделювання елементів гідротурбін у CAD**

#### **2.3.1 Лопаті робочих коліс**

Лопаті гідротурбін є одним із ключових елементів, які безпосередньо впливають на ефективність перетворення енергії потоку води в механічну енергію. Їхнє моделювання у CAD потребує особливої уваги до форми, профілю та оптимізації для забезпечення максимальної продуктивності.



### ***Форми лопатей***

Лопаті гідротурбін можуть мати різну форму залежно від типу турбіни. Для кожного типу форми лопатей визначаються параметрами, які залежать від гідравлічних умов: швидкість потоку, тиск та витрата води (рис. 2.1). У CAD-програмах для моделювання таких форм використовують інструменти, які дозволяють створювати складні криволінійні геометрії, зокрема Loft (По перетинам) та Sweep (По таректорії).

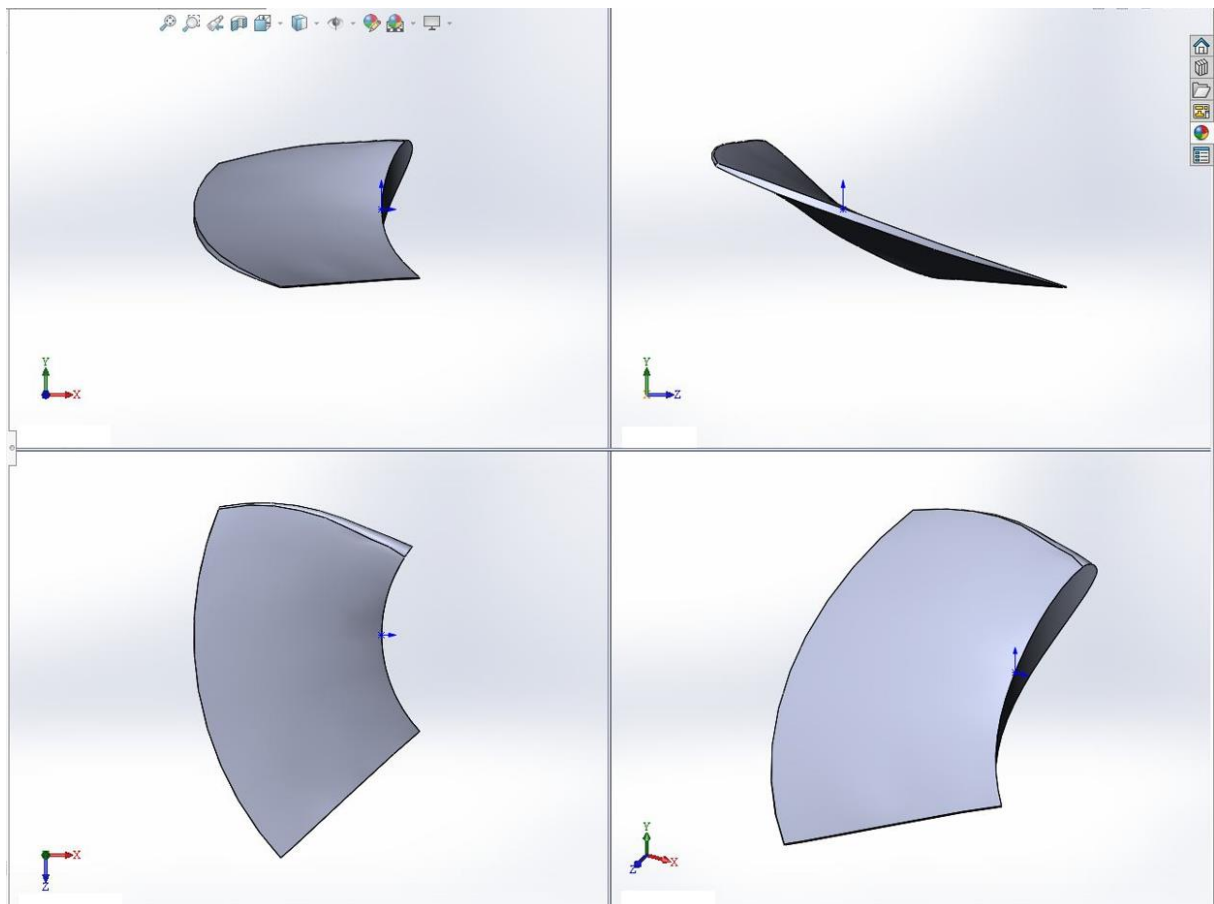


Рисунок 2.1 – 3D модель лопаті робочого колеса (4 види)

### ***Профілі лопатей***

Профіль лопаті є ще одним критичним аспектом. Його правильне налаштування забезпечує мінімальний опір потоку води та максимально ефективну передачу енергії. Для проектування профілів зазвичай використовуються спеціальні бібліотеки форм, які можна інтегрувати у CAD-

середовище. Такі профілі створюються у вигляді 2D-кривих, потім у вигляді 3D-профілів, які пізніше об'єднуються у тривимірну форму (рис. 2.2-2.3).



Рисунок 2.2 – Розрахункові профілі лопаті робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни

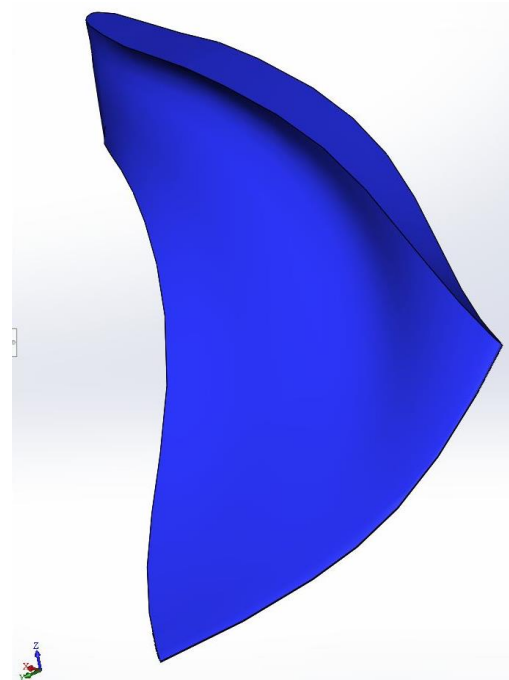


Рисунок 2.3 – 3D лопать робочого колеса, отримана об'єднанням розрахункових профілів

При моделюванні лопатей важливо також враховувати їхнє положення відносно інших елементів турбіни. Використовуючи параметричне моделювання, можна легко адаптувати профіль лопаті до змін у конструкції.

### ***Оптимізація для потоку***

Оптимізація лопатей проводиться для досягнення максимальної гідравлічної ефективності. Використовуючи інструменти CAD, такі як інтеграція з модулями CAE, інженери можуть аналізувати потоки рідини через лопаті та оптимізувати їхні форми на основі отриманих даних (рис. 2.4).

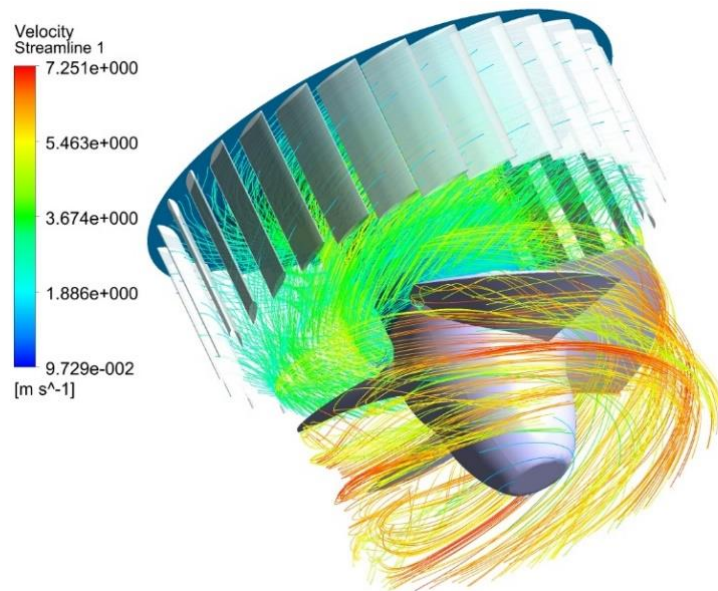


Рисунок 2.4 – Візуалізація потоку через лопаті робочого колеса з використанням САЕ

### 2.3.2 Спіральні камери

Спіральна камера – це конструкція, що спрямовує потік води на лопаті турбіни з рівномірним розподілом енергії. У САД-програмах вона моделюється як складна поверхнева або твердотільна геометрія (рис. 2.5). Для цього використовуються інструменти Sweep (По траєкторії) для створення спіральних контурів та Loft (По перетинам) для з'єднання профілів. Основна увага приділяється забезпеченню плавного руху води та мінімізації втрат.

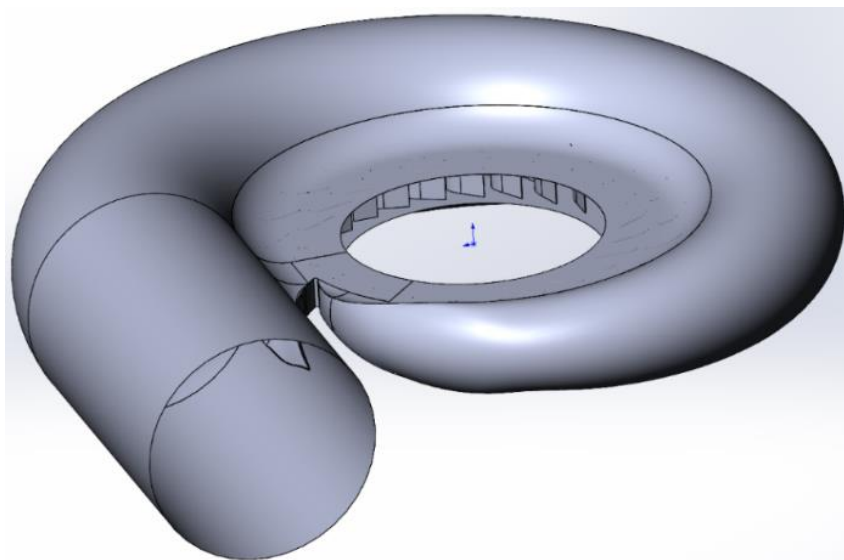


Рисунок 2.5 – Спіральна камера гідротурбіни, побудована у САД

### 2.3.3 Відсмоктуючі труби

Відсмоктуюча труба використовується для перенаправлення води у нижній б'єф після її проходження через лопаті турбіни. Геометрія вхідної частини зазвичай конічна, зі збільшенням перетину до виходу (можливий прямокутний або круговий поперечний перетин на виході), що сприяє зменшенню турбулентності та відновленню частини енергії потоку (рис. 2.6). У CAD для моделювання цього елемента застосовуються функції Revolve (Поворот) та Loft (По перетинам), які дозволяють створювати гладкі перехідні поверхні.

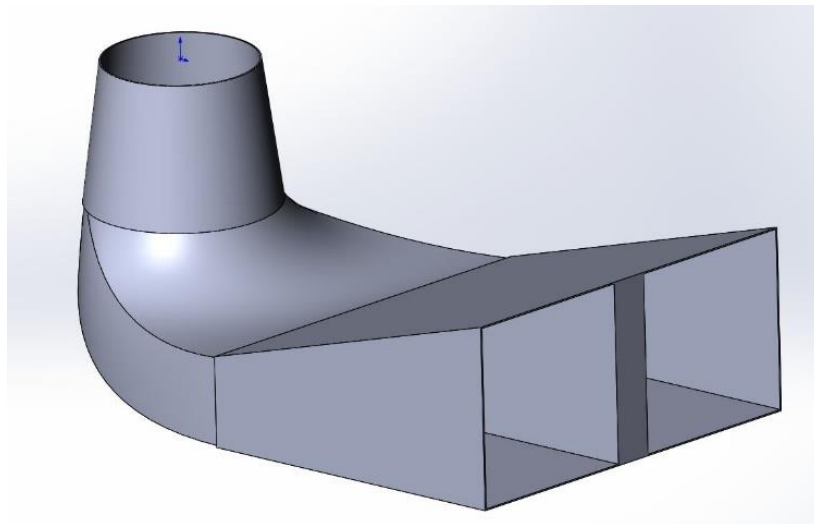


Рисунок 2.6 – Відсмоктуюча труба гідротурбіни, побудована у CAD

### 2.3.4 Направляючі апарати

Направляючі апарати є ключовими для регулювання потоку води на вході у робоче колесо турбіни. Ці елементи зазвичай моделюються як окремі компоненти із симетричною геометрією. У CAD для їх створення використовуються функції Pattern (Масив) для копіювання елементів та Extrude (Витягнути) для формування основної частини.

### 2.3.5 Вали гідротурбін

Вал забезпечує передачу обертового моменту від лопатей до генератора. Моделювання валів вимагає високої точності, оскільки вони піддаються значним механічним навантаженням. У CAD-програмах для їх розробки застосовуються

параметричні моделі, що дозволяють легко змінювати діаметр, довжину та форму. Інструменти Revolve (Поворот) і Chamfer (Фаска) допомагають створювати кінцеві деталі, такі як шліци чи підшипникові посадки.

### **2.3.6 Підшипники**

Підшипники використовуються для зменшення тертя та забезпечення плавного обертання валу. Їх моделювання у CAD включає створення зовнішніх і внутрішніх кілець, сепараторів і кульок. Для цього застосовуються функції Revolve і Pattern, що дозволяють точно відтворити складні деталі.

## **2.4 Типові помилки при моделюванні та їх уникнення**

Процес моделювання в CAD-програмах є складним і вимагає від інженерів уваги до деталей. Проте типові помилки трапляються навіть у досвідчених фахівців, що може призводити до значних затримок або необхідності переробки моделей.

### ***Неправильна параметризація***

Однією з найпоширеніших помилок є недотримання принципів параметричного моделювання. Якщо інженер не задає параметрів, що залежать один від одного, зміна одного компонента може не враховуватися іншими, що призводить до некоректної геометрії. Наприклад, якщо змінити діаметр валу, а розміри підшипників залишаться незмінними, це може призвести до проблем під час складання. Щоб уникнути цього, важливо правильно налаштовувати залежності між параметрами.

### ***Неправильне визначення матеріалів***

Ще однією поширеною проблемою є некоректний вибір або визначення матеріалів під час моделювання. У багатьох CAD-програмах, таких як SolidWorks чи Siemens NX, матеріали задаються для симуляцій механічних чи теплових навантажень. Невідповідність характеристик матеріалу, наприклад щільності чи межі міцності, може спричинити некоректні результати аналізу. Рішенням є використання перевірених баз даних матеріалів та ретельна перевірка заданих властивостей.

### ***Неправильна топологія моделі***

При моделюванні складних компонентів, таких як лопаті гідротурбін, інженери часто стикаються з проблемами топології. Неправильне з'єднання поверхонь або перекриття елементів може призводити до помилок у симуляціях та під час створення креслень. Використання інструментів перевірки моделі, таких як Geometry Check або Interference Detection, допомагає уникнути цих проблем.

### ***Помилки при використанні автоматизації***

Автоматизація в CAD-програмах, хоч і значно пришвидшує роботу, також може бути джерелом помилок. Наприклад, автоматичне розташування отворів або кріплень може створити конфлікти між компонентами, якщо не задати правильні обмеження. Для уникнення таких ситуацій важливо проводити тестування автоматичних процесів на менш складних моделях.

### ***Ігнорування симуляцій***

Ще однією помилкою є недостатня увага до симуляцій під час проектування. Інженери можуть зосередитися лише на зовнішньому вигляді моделі, не виконуючи аналізів, таких як оцінка міцності чи теплових характеристик. Це призводить до серйозних проблем під час виробництва або експлуатації обладнання. Регулярне використання таких інструментів, як FEA Analysis чи CFD Simulation, допомагає виявити та усунути проблеми на етапі проектування.

## **2.4.1 Практичний підхід до уникнення помилок**

Для мінімізації помилок при моделюванні інженери повинні дотримуватися кількох правил:

1. ***Ретельне планування.*** Перед початком моделювання варто створити чіткий план із зазначенням усіх необхідних параметрів і обмежень.

2. ***Використання шаблонів.*** Багато CAD-програм дозволяють створювати шаблони для стандартних деталей, що допомагає уникнути повторюваних помилок.



**3. Перевірка моделі.** Регулярне використання інструментів перевірки геометрії допомагає уникати проблем із топологією.

**4. Навчання та підвищення кваліфікації.** Інженери повинні постійно оновлювати свої знання щодо нових функцій та можливостей CAD-програм.

### **Питання для самоконтролю**

1. Яка роль тривимірного моделювання у сучасному інженерному проектуванні?

2. Чому параметричне моделювання є важливим принципом у 3D-проектуванні?

3. Які переваги надає інтеграція 3D-моделювання з інструментами комп'ютерного інженерного аналізу (CAE)?

4. Як 3D-моделювання впливає на зменшення витрат і скорочення часу виконання проектів?

5. Які основні етапи включає процес створення тривимірної моделі в CAD?

6. Що таке поверхневе моделювання, і в яких випадках його доцільно використовувати?

7. Які інструменти використовуються для моделювання лопатей гідротурбін у CAD?

8. Які особливості слід враховувати при моделюванні спіральних камер гідротурбін?

9. Як геометрія відсмоктуючих труб впливає на ефективність роботи гідротурбіни?

10. Які типові помилки можуть виникати при моделюванні у CAD, і як їх уникнути?

## **3 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В САПР**

### **3.1 Вступ**

Математичні моделі відіграють важливу роль у сучасному проектуванні, забезпечуючи основу для аналізу, оптимізації та передбачення поведінки складних систем. У контексті інженерних задач, особливо в гідромашинобудуванні, використання математичних моделей дозволяє імітувати фізичні процеси, оцінювати параметри роботи систем і прогнозувати результати ще до виготовлення прототипу. Завдяки цьому проектувальники можуть мінімізувати ризики, підвищувати точність розрахунків і знижувати витрати на розробку.

Однією з основних переваг математичних моделей є їх здатність описувати динамічні та статичні характеристики об'єктів у числовій формі. Це дозволяє використовувати їх як основу для автоматизованого проектування (CAD) і комп'ютерного інженерного аналізу (CAE). Наприклад, при проектуванні гідротурбін математичні моделі дозволяють враховувати такі складові, як турбулентність потоку, розподіл тиску, гідравлічні втрати та механічні напруження, які впливають на ефективність і надійність гідромашини.

#### **3.1.1 Роль математичних моделей у сучасному проектуванні**

Математичне моделювання забезпечує проектувальникам можливість:

- Виконувати розрахунки для різних варіантів конструкцій без створення фізичних прототипів.
- Виявляти оптимальні технічні рішення, знижуючи час і ресурси, необхідні для проектування.
- Аналізувати роботу систем у реальних умовах, включаючи екстремальні навантаження та нештатні ситуації.

У проектуванні гідромашин математичні моделі особливо корисні для оптимізації проточної частини. Вони дозволяють аналізувати взаємодію рідини з елементами конструкції, прогнозувати поведінку потоку та мінімізувати енергетичні втрати.

### 3.1.2 Основи математичного моделювання в інженерії

Математичне моделювання базується на створенні математичних описів об'єктів, процесів або явищ за допомогою рівнянь, нерівностей і алгоритмів. У цьому контексті основними етапами моделювання є (рис. 3.1):

1. **Формулювання задачі.** Визначення ключових параметрів і умов, які впливають на процес. Наприклад, для гідромашин це може бути швидкість потоку, тиск, геометрія лопатей.

2. **Розробка моделі.** Побудова рівнянь, що описують фізичні процеси. Для цього використовуються рівняння Нав'є-Стокса, закони збереження маси, енергії та імпульсу.

3. **Чисельний аналіз.** Вирішення рівнянь за допомогою спеціалізованих програмних засобів, таких як ANSYS або Fluent.

4. **Перевірка та верифікація.** Порівняння отриманих результатів із експериментальними даними або теоретичними передбаченнями.

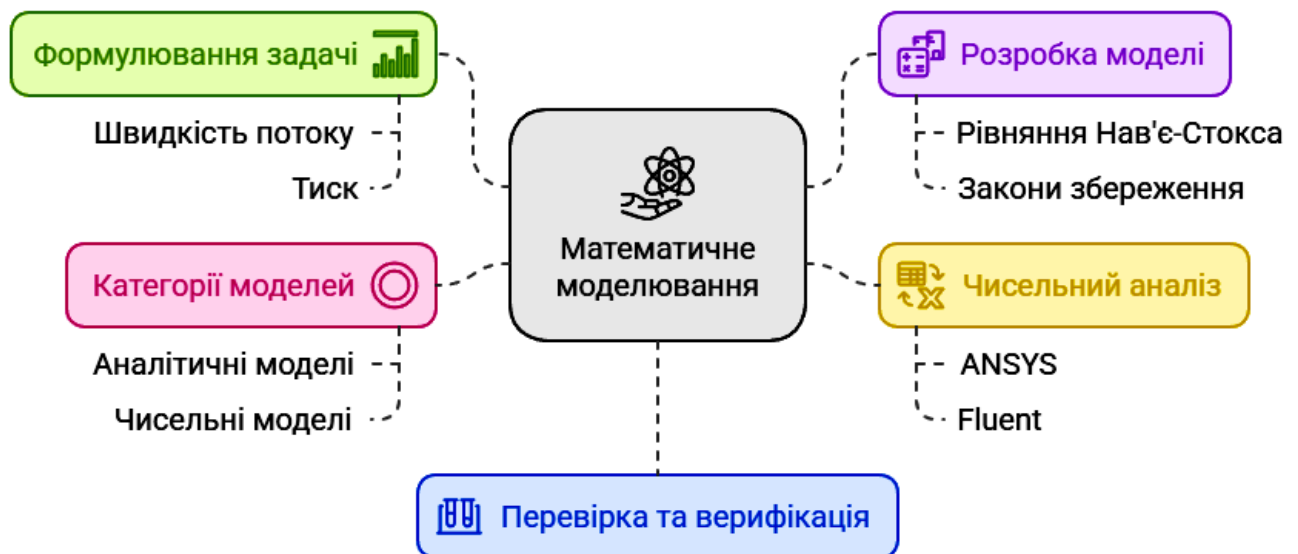


Рисунок 3.1 – Математичне моделювання в інженерії

Інженерні математичні моделі зазвичай поділяються на дві основні категорії:

- Аналітичні моделі, які використовують спрощені рівняння для опису загальних характеристик системи. Вони швидкі в розрахунках, але обмежені точністю.

- Чисельні моделі, що базуються на деталізованих розрахунках із використанням методів скінченних елементів (FEM) або обчислювальної гідродинаміки (CFD). Вони точніші, але потребують значних обчислювальних ресурсів.

### 3.2 Математичні моделі в гідромашинах

#### 3.2.1 Основні типи математичних моделей

##### *Рівняння потоку*

Математичне моделювання в гідромашинобудуванні базується на кількох основних типах моделей, кожна з яких має своє призначення та методологію.

Розрахунок течії рідини чи газу в сучасних програмних продуктах виконується шляхом чисельного рішення системи рівнянь, що описують найбільш загальний випадок руху рідкого середовища. Такими є рівняння Нав'є-Стокса (3.1) і нерозривності (3.2):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + f_i, \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0. \quad (3.2)$$

Тут використаний скорочений запис рівнянь,  $i, j = 1 \dots 3$ , передбачається підсумовування по однаковим індексам,  $x_1, x_2, x_3$  – осі координат,  $t$  – час. Член  $f_i$  виражає дію масових сил.

У цій системі з чотирьох рівнянь незалежними шуканими параметрами є три компоненти швидкості  $u_1, u_2, u_3$  і тиск  $p$ . Густина  $\rho$  рідини, а також газу при швидкостях до 0.3 числа Маха, вважається величиною постійною.

Течії в обертових робочих органах гідромашин розглядаються у відносній системі відліку, при цьому член  $f_i$  в правій частині рівнянь виражає дію відцентрових і коріолісових сил:

$$\vec{f}_i = -\rho \left( 2\vec{\omega} \times \vec{u} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) \right), \quad (3.3)$$

де  $\vec{\omega}$  – кутова швидкість обертання,  $\vec{r}$  – радіус-вектор (модуль якого дорівнює відстані від даної точки до осі обертання).

В якості граничних умов задається «умова прилипання» на всіх твердих стінках (швидкість дорівнює нулю), розподіл всіх складових швидкостей у вхідному перерізі, і рівність нулю перших похідних (у напрямку течії) складових швидкості у вихідному перерізі.

На практиці, якщо швидкість потоку на вході приблизно рівномірна по перетину, користувач задає на вході лише середню швидкість (або витрату), а на виході не задає нічого – при цьому покладається, що користувач вибрав вихідний перетин досить далеко від ділянок інтенсивної перебудови потоку. Тиск входить в рівняння лише у вигляді перших похідних, і користувачеві потрібно вказати тиск лише в якійсь одній точці розрахункової області.

Течії в гідромашинах, як правило, є турбулентними. Безпосереднє моделювання турбулентних течій шляхом чисельного рішення рівнянь Нав'є-Стокса, записаних для миттєвих швидкостей, все ще є вкрай важким, а крім того, інтерес представляють, як правило, не миттєві, а осереднені за часом значення швидкостей.

Таким чином, для аналізу турбулентних течій замість рівнянь (3.1) використовують рівняння Рейнольдса (3.4):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + f_i, \quad (3.4)$$

де  $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3$  – осереднені за часом значення швидкостей,  $\bar{u}'_1, \bar{u}'_2, \bar{u}'_3$  – пульсаційні складові швидкостей.

### ***Гідродинамічні моделі***

Ці моделі описують взаємодію рідини з поверхнями гідромашин, такими як лопаті турбін або спіральні камери. Основою таких моделей є обчислювальна гідродинаміка (CFD), яка дозволяє вирішувати рівняння Нав'є-Стокса чисельно для складних геометрій.

- Моделі ламінарного і турбулентного потоку. Використовуються для аналізу режимів руху рідини в різних частинах машини.
- Моделі кавітації. Описують процес утворення і схлопування бульбашок пари в потоці, що може призводити до пошкодження обладнання.

### ***Моделі структурних характеристик***

Ці моделі описують механічну поведінку елементів конструкції гідромашин під дією навантажень.

- Рівняння пружності:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon,$$

де  $\sigma$  – напруження,  $E$  – модуль Юнга,  $\varepsilon$  – деформація.

Використовуються для аналізу напружено-деформованого стану лопатей, валів, підшипників та інших елементів.

- Методи скінченних елементів (FEM): дозволяють чисельно вирішувати складні задачі структурного аналізу.

### **3.2.2 Особливості математичного моделювання для гідротурбін**

Моделювання для гідротурбін і оборотних гідромашин має свої специфічні аспекти, зумовлені складністю проточних частин і вимогами до енергоефективності (рис. 3.2).

#### ***1. Гідротурбіни***

- Лопаті турбін:

Оптимізація профілю лопатей є критичною для досягнення високої ефективності. Рівняння потоку та гідродинамічні моделі використовуються для



оцінки розподілу тиску та швидкостей на поверхні лопатей, а також для мінімізації турбулентності та кавітації.

- Спіральні камери та направляючі апарати:

Моделі потоку дозволяють визначити оптимальну форму цих елементів для рівномірного розподілу потоку до робочого колеса.

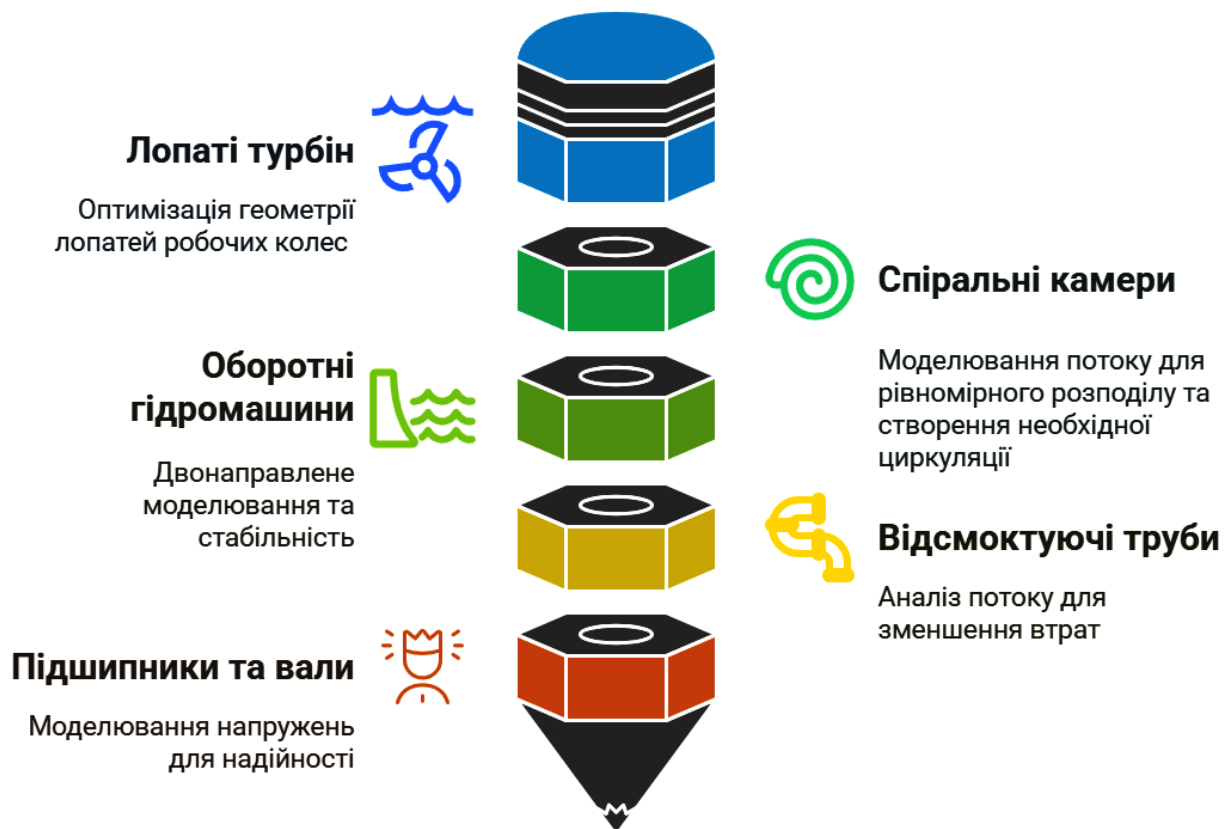


Рисунок 3.2 – Компоненти математичного моделювання гідротурбін

## 2. Оборотні гідромашини

Оборотні гідромашини, які працюють як насоси і турбіни, вимагають багатофункціональних моделей, здатних описувати режими роботи в обох напрямках.

- Двонаправлене моделювання:

Використовуються CFD-методи для аналізу характеристик машини у турбінному та насосному режимах.

- Аналіз стабільності:

Моделі дозволяють передбачати можливі коливання потоку, які можуть знижувати стабільність роботи.

### **3. Інші елементи ГЕС**

- Відсмоктуючі труби:

Аналіз потоку у цих елементах виконується для зниження втрат енергії.

- Підшипники та вали:

Моделювання механічних напружень та динаміки роторів дозволяє підвищити надійність і довговічність конструкцій.

Завдяки комплексному використанню математичних моделей у проектуванні гідромашин, можливо створювати високоефективні, надійні системи для використання в гідроенергетиці.

### **3.3 Етапи створення математичних моделей у CAD**

Процес побудови математичних моделей охоплює кілька етапів, які забезпечують точність, відповідність реальним умовам і ефективність розробки.

#### **3.3.1 Визначення задачі та вибір підходів до моделювання**

Перед початком моделювання необхідно чітко визначити основну задачу, яка вирішується за допомогою математичної моделі. Це може бути:

- аналіз гідродинаміки в проточних частинах,
- дослідження структурних характеристик елементів,
- оцінка теплових процесів або комбінований підхід.

#### ***Формалізація задачі***

На цьому етапі визначаються:

1. Основні змінні системи.

Наприклад, швидкість потоку ( $v$ ), тиск ( $p$ ), деформація ( $\epsilon$ ).

2. Фізичні закони.

Використовуються рівняння, які описують динамічну поведінку системи, такі як:

- Рівняння Нав'є-Стокса для гідродинаміки,
- Закон Гука для опису пружних деформацій.

Підхід до моделювання визначається типом задачі:

- **Твердотільне моделювання.** Використовується для аналізу статичних і динамічних характеристик конструкцій.
- **Гідродинамічне моделювання.** Обирається для аналізу потоків рідини.
- **Мультифізичне моделювання.** Застосовується для задач, які враховують взаємодію кількох фізичних явищ, наприклад, термомеханічний аналіз.

На цьому етапі також оцінюється доцільність використання певних чисельних методів, як-от метод скінченних елементів (FEM) чи метод обчислювальної гідродинаміки (CFD).

### **3.3.2 Спрощення реальної геометрії для побудови моделей**

Відображення реальної геометрії у математичних моделях зазвичай вимагає певного спрощення. Це обумовлено необхідністю зниження обчислювальної складності, збереження стабільності чисельних розрахунків і зосередження на ключових аспектах задачі.

#### **1. Аналіз вихідної геометрії**

Перед створенням моделі оцінюється складність геометрії:

- Виділяються основні елементи, які впливають на фізичні процеси.
- Малі елементи, що несуттєво впливають на результати (наприклад, дрібні виступи або отвори), можуть бути виключені.

#### **2. Спрощення геометрії**

На цьому етапі використовуються такі підходи:

- Ідеалізація поверхонь: заміна складних криволінійних форм простішими плоскими або сферичними елементами.
- Симетрія: за наявності осьової або дзеркальної симетрії моделюється лише частина об'єкта, а результати екстраполюються.
- Заміна деталей аналогами: складні вузли можуть бути замінені рівноцінними елементами з еквівалентними характеристиками.

### **3. Дискретизація області**

Для чисельного розв'язання моделі виконується розбиття геометрії на елементи (наприклад, скінченні елементи). Точність результатів залежить від щільності сітки дискретизації, яка повинна бути достатньо високою в зонах з великими градієнтами фізичних величин.

#### **3.3.3 Підбір граничних умов і параметрів**

Математична модель є неповною без встановлення граничних умов, які описують взаємодію системи із зовнішнім середовищем, а також параметрів, що характеризують властивості матеріалів і потоку.

##### **1. Граничні умови**

Граничні умови визначають поведінку фізичних величин на межах моделі. Вони поділяються на:

- Дирихле (фіксовані значення): наприклад, відомий тиск або швидкість потоку на вході.

$$p = p_0, v = v_0 \text{ на границі } \Gamma_1.$$

- Неймана (похідні значень): наприклад, заданий потік або тепловий потік.

$$\frac{\partial T}{\partial n} = q \text{ на границі } \Gamma_2.$$

- Змішані: комбінація перших двох типів умов.

##### **2. Параметри системи**

Сюди входять:

- Фізичні властивості: густина ( $\rho$ ), в'язкість ( $\mu$ ), модуль пружності ( $E$ ).
- Робочі умови: швидкість обертання вала, гравітаційні сили, температурні режими.
- Початкові умови: значення параметрів у початковий момент часу для нестационарних задач.

### **3. Калібрування моделі**

Перед основними розрахунками проводиться перевірка адекватності моделі. Для цього використовуються експериментальні дані або відомі аналітичні рішення. Модель може бути скоригована шляхом уточнення параметрів або введення додаткових граничних умов.

### **3.4 Інструменти та програмні засоби для математичного моделювання**

#### **3.4.1 Використання CAE-систем: ANSYS, Flow Simulation, Fluent**

Комп'ютерний інженерний аналіз (CAE) є важливою складовою проектування складних механічних систем, зокрема гідромашин. CAE-системи дозволяють проводити точні обчислення, оптимізацію конструкцій і аналіз взаємодії фізичних процесів. Серед найпоширеніших інструментів виділяються:

#### **ANSYS**

ANSYS – одна з найпотужніших платформ для інженерного моделювання, яка підтримує численні модулі для аналізу різних фізичних процесів. Основні можливості ANSYS:

- Структурний аналіз: розрахунок деформацій, напружень і міцності конструкцій.
- Гідродинамічний аналіз (CFD): моделювання потоків рідини з використанням рівнянь Нав'є-Стокса.
- Мультифізичний аналіз: одночасне врахування кількох фізичних явищ, наприклад, теплопередачі й механічних навантажень.

У контексті гідротурбін ANSYS використовується для аналізу проточної частини, оцінки кавітації та оптимізації лопатевих систем.

#### **Flow Simulation (SOLIDWORKS)**

Flow Simulation є інтегрованим модулем для CFD-аналізу в середовищі SOLIDWORKS. Його основні переваги:

- Проста інтеграція з 3D-моделями, створеними в CAD.
- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для аналізу потоків рідин і газів.

- Підтримка чисельного аналізу теплопередачі та аеродинаміки.

Flow Simulation ефективно використовується для аналізу робочого процесу в турбінних каналах і прогнозування втрат енергії.

### ***Fluent***

Fluent, що є частиною платформи ANSYS, спеціалізується на розв'язанні задач обчислювальної гідродинаміки (CFD). Основні можливості Fluent включають:

- Детальний аналіз турбулентних потоків за допомогою моделей RANS і LES.
- Моделювання багатофазних середовищ, що важливо для гідромашин, які працюють у змішаних фазах.
- Аналіз трансзвукових і надзвукових потоків.

Fluent часто використовується для вивчення динаміки потоків у відсмоктуючих трубах і спіральних камерах гідротурбін.

На рисунку 3.3 приведено коротке порівняння CAE інструментів для аналізу потоку в гідромашинах.

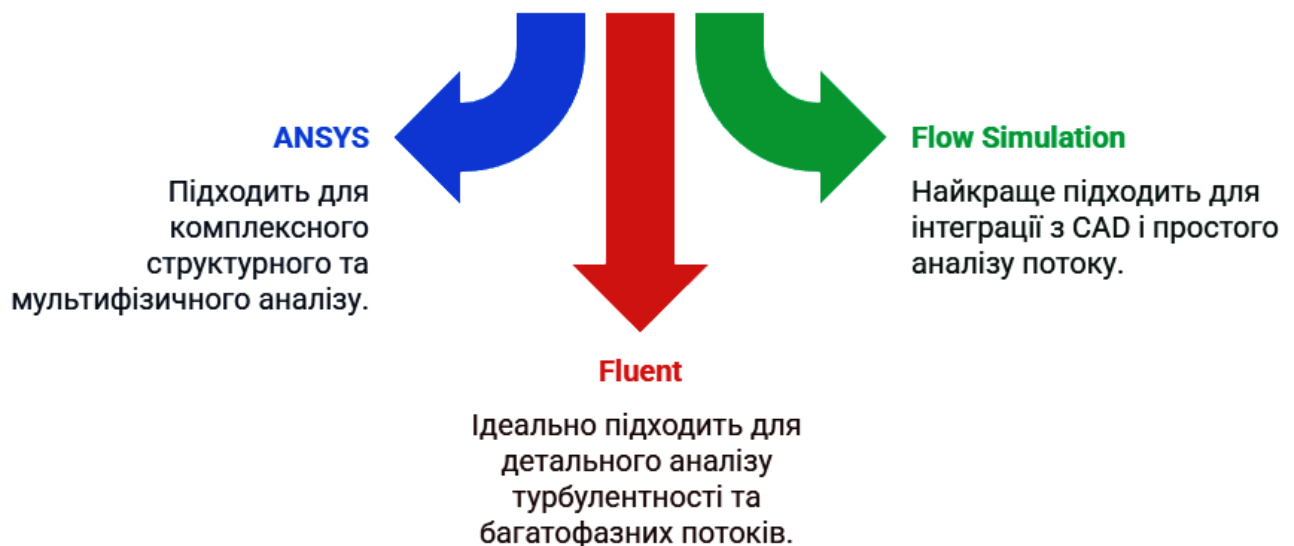


Рисунок 3.3 – Порівняння CAE інструментів для аналізу потоку в гідромашинах

### **3.4.2 Інтеграція математичних моделей у CAD-системи**

Сучасні CAD-системи надають можливості для створення геометричних моделей, які слугують основою для математичного аналізу. Інтеграція

математичних моделей у CAD забезпечує безперервний перехід між етапами проектування та аналізу.

### ***Імпорт і експорт геометрії***

Для використання моделей у CAE-системах, таких як ANSYS або Fluent, геометрія, створена в CAD, експортується у відповідних форматах, наприклад, STEP, IGES або STL. Це дозволяє:

- Зберігати точність геометричних параметрів.
- Застосовувати геометрію до різних фізичних моделей, таких як механічна міцність чи гідродинаміка.

### ***Додавання параметрів і граничних умов***

У CAD-системах інженери можуть попередньо задавати параметри та граничні умови для моделювання. Наприклад:

- Локалізація зон навантажень.
- Визначення вхідних і вихідних перетинів для потоків рідини.

### ***Інтегровані аналізи***

Деякі CAD-системи, такі як SOLIDWORKS або Autodesk Inventor, мають вбудовані модулі аналізу, які дозволяють безпосередньо вивчати напружено-деформований стан або потоки рідини без необхідності переходу до зовнішніх CAE-платформ.

## **3.5 Проблеми та обмеження математичних моделей у CAD**

Незважаючи на свої переваги математичне моделювання має певні проблеми й обмеження, які впливають на точність і ефективність моделювання.

### **3.5.1 Типові помилки при створенні моделей**

При розробці математичних моделей у CAD можуть виникати помилки, які призводять до спотворення результатів моделювання або невідповідності моделі реальним умовам. Основні типи помилок включають:



### 1) Геометричні помилки

- Неправильна спрощена геометрія. Спрощення складних конструкцій часто необхідне для зменшення обчислювальної складності, але воно може викликати втрату важливих деталей. Наприклад, округлення гострих кутів у моделі лопаті гідротурбіни може змінити характер потоку навколо неї.

- Невідповідність масштабів. Помилки масштабу можуть призводити до некоректних розрахунків фізичних параметрів, таких як об'єм або площа поверхні.

### 2) Фізичні помилки

- Некоректні граничні умови. Задавання неправильних умов на вході чи виході моделі потоку, наприклад, нерелевантних швидкостей або тисків, може призводити до некоректних результатів.

- Невідповідність матеріальних властивостей. Використання неточних характеристик матеріалів, таких як щільність, модуль пружності чи теплопровідність, може спотворити результати моделювання.

### 3) Чисельні помилки

- Неправильна дискретизація. Поділ геометрії на надто великі елементи може знизити точність розрахунків. Наприклад, у CFD-аналізі груба сітка може неадекватно описати поведінку турбулентних потоків.

- Проблеми конвергенції. Під час розрахунків можуть виникати складнощі з досягненням збіжності ітеративних методів, особливо у складних багатофізичних задачах.

## 3.5.2 Межі точності та необхідність верифікації моделей

Одна з головних проблем математичного моделювання – це обмежена точність отриманих результатів. Точність моделей залежить від кількох факторів:

### ***Вплив початкових умов***

Невелика зміна початкових умов, таких як швидкість рідини або температура, може суттєво вплинути на результати розрахунків. Це особливо

критично для нестабільних систем, де початкові значення визначають поведінку всієї системи.

### ***Межі застосовності математичних моделей***

- Складність фізичних процесів. Багато процесів, такі як турбулентність, багатофазні потоки або кавітація, вимагають спрощень, які можуть викликати втрату точності. Наприклад, моделі RANS для турбулентних потоків не завжди коректно описують великі вихори.

- Лінійність рівнянь. У багатьох задачах використовуються лінійні підходи, які не враховують нелінійні явища, наприклад, взаємодію між потоками різних фаз.

### ***Необхідність верифікації та валідації***

Моделі повинні проходити верифікацію (перевірку на математичну коректність) і валідацію (порівняння результатів з експериментальними даними). Для цього використовуються:

- Лабораторні експерименти. Дані реальних випробувань порівнюють з результатами моделювання.
- Чисельні еталонні рішення. Тестування на простих задачах, для яких відомі аналітичні розв'язки.

### **3.5.3 Баланс між деталізацією та спрощенням**

Під час створення моделей необхідно знайти баланс між деталізацією конструкції та її спрощенням для забезпечення ефективності моделювання.

#### ***Переваги деталізації***

- Підвищення точності. Високодеталізовані моделі краще описують фізичні процеси, наприклад, взаємодію потоків з геометрією лопатей.
- Можливість локального аналізу. Наприклад, аналіз локальних напружень у місцях з'єднання деталей.

#### ***Недоліки надмірної деталізації***

- Велика обчислювальна складність. Час розрахунків і вимоги до апаратного забезпечення зростають із кількістю деталей.

- Ризик чисельних помилок. Надмірно складна модель може створювати труднощі для алгоритмів вирішення задач.

#### ***Вигоди спрощення моделей***

- Зменшення часу розрахунків. Простішу модель можна швидше розрахувати, що дозволяє зосередитися на оптимізації конструкції.

- Фокус на ключових елементах. Наприклад, замість моделювання всього гідроагрегата можна зосередитися лише на його робочому колесі.

#### ***Обмеження спрощення***

- Втрати важливої інформації. При спрощенні аеродинамічної моделі лопатей можуть ігноруватися ефекти вторинних потоків, що впливають на ефективність турбіни.

- Невідповідність реальним умовам. Спрощена модель може не враховувати складних взаємодій, таких як вплив гідростатичного тиску на конструкцію.

### **3.6 Перспективи вдосконалення математичних моделей**

#### **3.6.1 Розробка нових алгоритмів для аналізу складних потоків**

Однією з найбільших проблем у математичному моделюванні є моделювання складних фізичних явищ, таких як турбулентність, кавітація або багатофазні потоки.

Розробка нових алгоритмів дозволяє значно покращити точність таких моделей.

#### ***Моделі для турбулентності***

Традиційні методи, такі як RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes), не завжди забезпечують достатню точність. Сучасні підходи включають:

- LES (Large Eddy Simulation). Цей метод дозволяє більш детально описувати великомасштабні вихори в потоках, що особливо важливо для аналізу потоків через лопаті гідротурбін.

- DNS (Direct Numerical Simulation). Хоча цей метод є обчислювально дорогим, він забезпечує найвищу точність для аналізу турбулентних потоків.

### ***Алгоритми для багатозфазних потоків***

Для моделювання систем, що включають кілька фаз (наприклад, вода й повітря), розробляються нові підходи:

- Моделі Volume of Fluid (VOF). Використовуються для аналізу взаємодії між фазами, таких як поверхневий натяг або гідростатичний тиск.
- Моделі Lattice Boltzmann. Інноваційний підхід для аналізу мікрофізичних процесів у багатозфазних системах.

### **3.6.2 Тенденції інтеграції з цифровими двійниками**

Цифрові двійники – це цифрові копії фізичних об'єктів або систем, які дозволяють проводити їхню віртуальну симуляцію. Інтеграція математичних моделей у такі двійники відкриває нові можливості для інженерії (рис. 3.4).

#### ***Реалізм у симуляціях***

Цифрові двійники дозволяють враховувати реальні умови роботи об'єкта в реальному часі. Наприклад:

- Гідротурбіни. Датчики на реальних турбінах можуть передавати дані про тиск і швидкість, які використовуються для оновлення математичних моделей у цифрових двійниках.
- Моніторинг зносу. Математичні моделі можуть передбачати знос компонентів на основі експлуатаційних даних, що дозволяє здійснювати прогнозувальне технічне обслуговування.

#### ***Оптимізація в реальному часі***

Інтеграція з цифровими двійниками дозволяє проводити оптимізацію конструкцій або режимів роботи систем у реальному часі. Наприклад, можна адаптувати режими роботи гідротурбіни для зміни обсягів води чи сезонних умов.

### *Тестування без фізичних прототипів*

Цифрові двійники дозволяють випробувати нові конструкції або модифікації без необхідності створення фізичних прототипів. Це зменшує витрати й скорочує час на реалізацію інновацій.

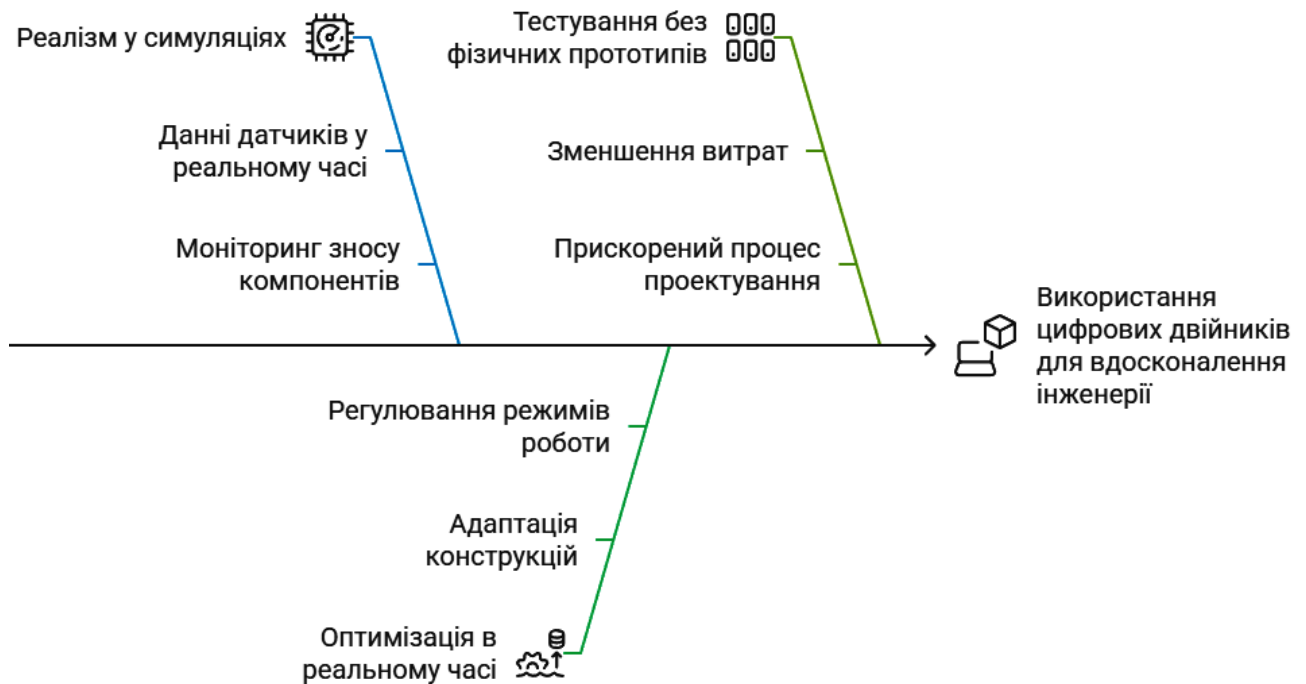


Рисунок 3.4 – Інтеграція цифрових двійників у інженерії

### **Висновок**

Математичні моделі є основою сучасного інженерного проектування, забезпечуючи можливість аналізувати, прогнозувати й оптимізувати характеристики складних технічних систем. У гідромашинобудуванні ці моделі дозволяють не лише підвищити ефективність і надійність гідротурбін, оборотних гідромашин та інших елементів ГЕС, але й скоротити час і витрати на розробку.

Значення математичних моделей полягає у їх здатності забезпечувати точні рішення для складних інженерних задач. Завдяки моделюванню стало можливим проводити численні віртуальні експерименти без використання фізичних прототипів, що є особливо важливим у проектах із високими вимогами до точності та ефективності. Це також сприяє переходу на новий рівень у

розробці проектів, де враховуються фактори довговічності та енергоефективності.

У майбутньому математичні моделі стануть ще точнішими й універсальнішими завдяки розвитку обчислювальних потужностей та інновацій у сфері аналізу даних. Їх застосування в інженерних галузях розширюватиметься, забезпечуючи нові можливості для проектування високотехнологічних об'єктів. Особливо значущими ці перспективи є для гідроенергетики, де постійно зростають вимоги до ефективності та екологічності.

### **Питання для самоконтролю**

1. Яку роль відіграють математичні моделі у проектуванні сучасних гідромашин?
2. Які переваги надають математичні моделі під час проектування гідротурбін?
3. Що таке рівняння Нав'є-Стокса, і як воно використовується у моделюванні потоків?
4. Що таке методи обчислювальної гідродинаміки (CFD), і чому вони важливі для моделювання потоків у гідромашинах?
5. Які основні завдання вирішуються за допомогою моделей ламінарного і турбулентного потоків?
6. Яке значення мають моделі кавітації для проектування лопатей турбін?
7. Як двонаправлене моделювання застосовується до оборотних гідромашин?
8. Які основні етапи створення математичної моделі у CAD?
9. Які фізичні закони і рівняння використовуються для опису динамічної поведінки систем?
10. Як досягається баланс між деталізацією і спрощенням моделей у процесі їх створення?

## 4 ГРАФІЧНІ МОЖЛИВОСТІ САПР

### 4.1 Вступ до SolidWorks

SolidWorks, розроблений корпорацією SolidWorks (США), є програмним забезпеченням для параметричного тривимірного моделювання, автоматизації механічного проектування, що працює на основі елементів. SolidWorks став першим CAD-пакетом, який використовує графічний інтерфейс Microsoft Windows. Завдяки функції перетягування (drag and drop) Windows цей CAD-пакет є надзвичайно простим у вивченні.

Графічний інтерфейс Windows дозволяє інженерам-механікам втілювати свої ідеї у вигляді віртуальних прототипів, тривимірних моделей, великих збірок, підзбірок, а також створювати креслення та специфікації.

SolidWorks є одним із продуктів корпорації SolidWorks, що входить до складу Dassault Systèmes. SolidWorks також може працювати як платформа для різного додаткового програмного забезпечення. Це означає, що ви можете використовувати інші сумісні програми в межах вікна SolidWorks. До додаткових програм, що працюють у середовищі SolidWorks, належать:

- SolidWorks Motion (Моделювання руху)
- SolidWorks Routing (Маршрутизація)
- ScanTo3D (Сканування у 3D)
- eDrawings (програма для перегляду DWG та DFX-креслень)
- SolidWorks Simulation (Симуляція)
- SolidWorks Toolbox (Інструментальна бібліотека)
- PhotoView 360 (Фотореалістичний рендеринг)
- CircuitWorks (Проектування електричних схем)
- SolidWorks Plastics (Моделювання пластикових виробів)
- SolidWorks Inspection (Автоматизований контроль якості)
- TolAnalyst (Аналіз допусків)



Як вже згадувалося раніше, SolidWorks – це параметричне, функціональне та зручне у використанні програмне забезпечення для автоматизації механічного проектування. Воно дозволяє перетворити базовий 2D-ескіз на тривимірну модель за допомогою простих, але надзвичайно ефективних інструментів моделювання. Також це програмне забезпечення дає змогу створювати віртуальний прототип листового металевих виробу та плоску розгортку цього виробу. Це допомагає на всіх етапах планування процесу проектування та створення прес-інструмента.

SolidWorks дозволяє витягувати основну частину та порожнину моделі, яка має бути відлита або відформована. За допомогою SolidWorks також можна створювати складні параметричні форми у вигляді поверхонь.

Деякі з важливих режимів роботи SolidWorks описані далі.

#### 4.2 Режим Деталь (Part)

Режим **Part** у SolidWorks є функціональним параметричним середовищем, у якому можна створювати тривимірні моделі. У цьому режимі надаються три стандартні площини: **Front Plane** (площина спереду), **Top Plane** (площина зверху) та **Right Plane** (площина справа). Спочатку необхідно вибрати одну з площин для створення ескізу основної функції.

Після вибору площини для ескізу ви переходите у середовище ескізу. Ескізи для моделі створюються в цьому середовищі за допомогою зручних інструментів. Після завершення створення ескізів можна проставити розміри та застосувати необхідні залежності у тому ж середовищі. Дизайн-намір легко втілюється завдяки додаванню залежностей, рівнянь і використанню таблиці проектування (**Design table**).

У режимі **Part** надається стандартна бібліотека отворів під назвою **Hole Wizard** (Майстер отворів). За допомогою цього інструмента можна створювати прості отвори, різьбові отвори, отвори під потайну головку (**Counterbore**), отвори з зенківкою (**Countersink**) тощо. Отвори можуть відповідати стандартам ISO, ANSI, JIS і багатьом іншим.

Також у цьому режимі можна створювати складні поверхні за допомогою інструментів моделювання поверхонь (surface modeling tools). До моделі можна додавати анотації, такі як символи зварювання, геометричні допуски, базові точки та символи чистоти поверхні. Стандартні елементи, які часто використовуються, можна зберігати у вигляді бібліотечних елементів і викликати їх при необхідності.

Бібліотека елементів SolidWorks містить багато стандартних механічних деталей і елементів. Також можна створювати деталі з листового металу, використовуючи відповідні інструменти. Крім цього, є можливість проводити аналіз моделі на стійкість до навантажень за реальних фізичних умов за допомогою інструмента **SimulationXpress**, який є простим і зручним у використанні. Це допомагає зменшити витрати та час на фізичні випробування конструкції в реальних умовах. Крім того, під час моделювання у вікні SolidWorks можна виконувати аналіз компонентів.

У режимі **Part** також доступне моделювання зварювання для створення сталевих конструкцій та додавання зварювальних швів.

За допомогою інструментів проектування прес-форм у режимі **Part** можна витягувати основну частину та порожнину.

### 4.3 Режим Збірка (Assembly)

У режимі **Assembly** ви можете збирати компоненти конструкції за допомогою відповідних інструментів. Є два методи складання компонентів:

1. Збірка знизу-вверх (**Bottom-up assembly**)
2. Збірка зверху-вниз (**Top-down assembly**)

У методі **Bottom-up assembly** збірка створюється шляхом об'єднання компонентів, створених заздалегідь, із збереженням їхнього проектного наміру.

У методі **Top-down assembly** компоненти створюються безпосередньо в режимі складання. Ви можете розпочати з готових деталей, а потім створити інші компоненти в контексті збірки.

Є можливість посилаючись на особливості деяких компонентів збірки для керування розмірами інших компонентів.

Усі компоненти збірки можна зібрати за допомогою одного інструмента – **Mate** (З'єднання/сполучення). Під час складання компонентів також можна анімувати збірку, перетягуючи її.

Крім того, можна перевірити працездатність збірки. **Collision detection** (Виявлення зіткнень) є однією з важливих функцій у цьому режимі. Завдяки цій функції ви можете обертати та переміщувати компоненти, а також виявляти інтерференцію й зіткнення між зібраними компонентами.

Реалістичний рух збірки можна побачити за допомогою фізичної динаміки (**Physical Dynamics**).

Фізична симуляція (**Physical simulation**) використовується для моделювання збірки з урахуванням ефектів від двигунів, пружин і сили тяжіння.

#### 4.4 Режим Креслення (Drawing)

Режим **Drawing** використовується для документування деталей або збірок, створених раніше, у вигляді видів креслення. Процес створення видів креслення називається проектуванням. У SolidWorks доступні два типи проектування:

1. Автоматичне проектування (**Generative drafting**)
2. Інтерактивне проектування (**Interactive drafting**)

Автоматичне проектування – це процес автоматичного генерування видів креслення деталей або збірок, створених раніше. Параметричні розміри та анотації, додані до компонентів у режимі **Part**, можуть бути згенеровані у вигляді видів креслення. **Generative drafting** має двосторонню асоціативність.

До збірки автоматично додаються специфікації (**BOMs**) і позначки (**Balloons**) під час створення видів креслення.

У інтерактивному проектуванні види креслення створюються вручну за допомогою інструментів ескізу, після чого до них додаються розміри.

#### 4.5 Системні вимоги

Системні вимоги для забезпечення стабільної роботи SolidWorks:

- Microsoft Windows 10, Windows 8.1 або Windows 8 (лише 64-бітні версії) чи Windows 7 (SP1 обов'язковий).

- Процесор Intel або AMD із підтримкою SSE2.
- Мінімум 2 ГБ оперативної пам'яті (рекомендовано 8 ГБ).
- Мінімум 5 ГБ вільного місця на жорсткому диску.
- Сертифікована відеокарта та драйвер.
- Microsoft Office 2007 або пізніша версія.
- Adobe Acrobat версії 8.0.7 або вище.
- DVD-привід і миша або інший сумісний пристрій.
- Internet Explorer версії 8 або вище.

#### 4.6 Початок роботи із SolidWorks

Встановіть SolidWorks на ваш комп'ютер. Після цього ярлик SolidWorks автоматично з'явиться на робочому столі. Двічі клацніть на цьому ярлику, щоб запустити програму. Система підготує SolidWorks до запуску, і через деякий час на екрані з'явиться вікно SolidWorks.

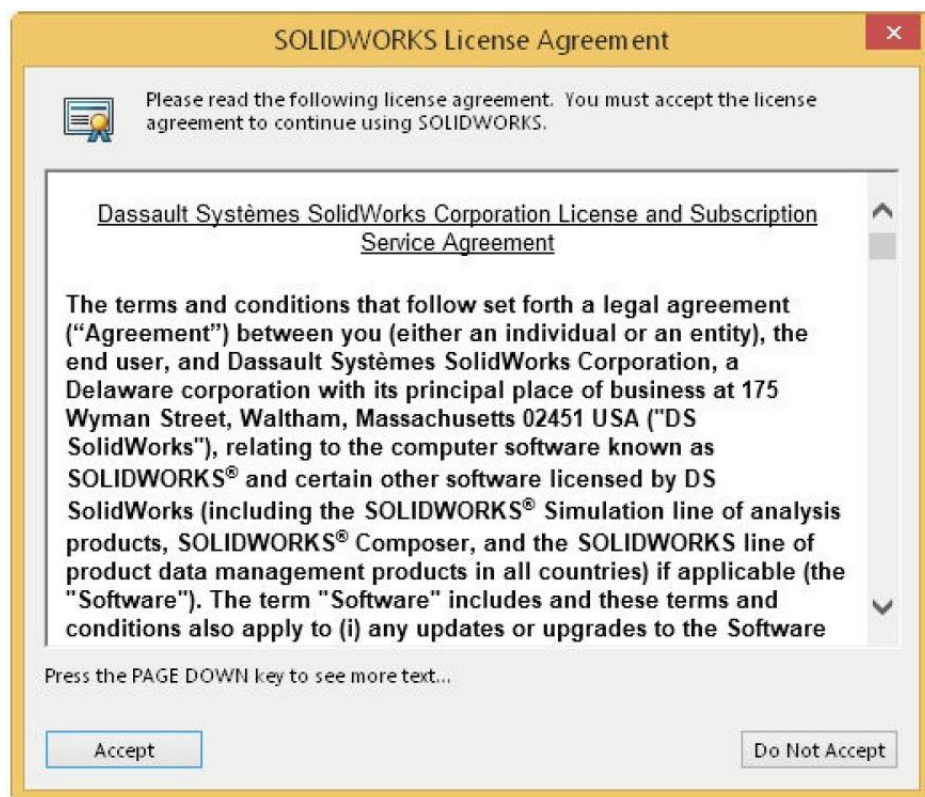


Рисунок 4.1 – Діалогове вікно Ліцензійна угода SOLIDWORKS

При першому відкритті SolidWorks з'явиться діалогове вікно **SOLIDWORKS License Agreement** (Ліцензійна угода SOLIDWORKS), як показано на рисунку 4.1.

Натисніть кнопку **Accept** (Прийняти) у цьому діалоговому вікні, після чого відкриється інтерфейс SolidWorks, а також панель завдань **SOLIDWORKS Resources** (Ресурси SOLIDWORKS), розташована праворуч (рис. 4.2). Ця панель використовується для створення нового файлу або відкриття існуючого.

Якщо панель завдань **SOLIDWORKS Resources** не відображається або згорнута, натисніть кнопку **SOLIDWORKS Resources**, розташовану праворуч у вікні, щоб відобразити її. За допомогою цієї панелі можна отримати доступ до онлайн-уроків або відвідати вебсайти партнерів SolidWorks.

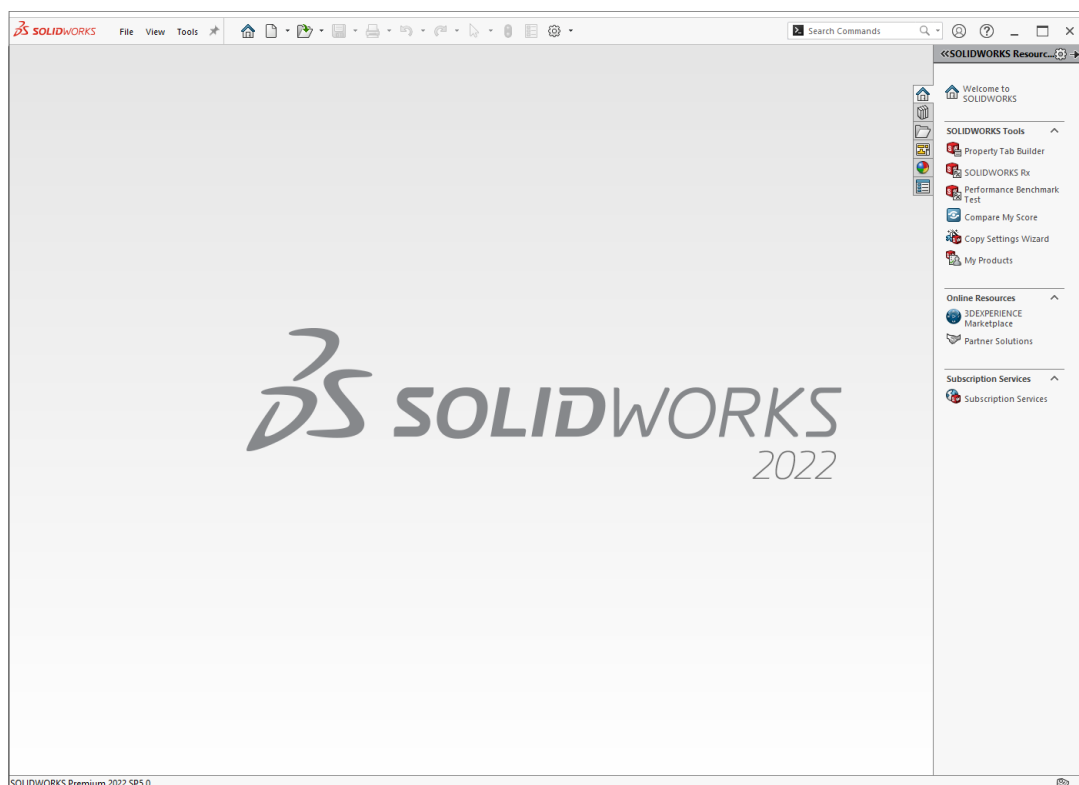


Рисунок 4.2 – Вікно SolidWorks і панель завдань SOLIDWORKS Resources

Натисніть кнопку **New Document** (Новий документ) у групі **Getting Started** (Початок роботи) на панелі **SOLIDWORKS Resources** або кнопку **New** у рядку меню, щоб створити новий документ. Після цього з'явиться діалогове

вікно **New SOLIDWORKS Document** (Новий документ SOLIDWORKS), як показано на рисунку 4.3.

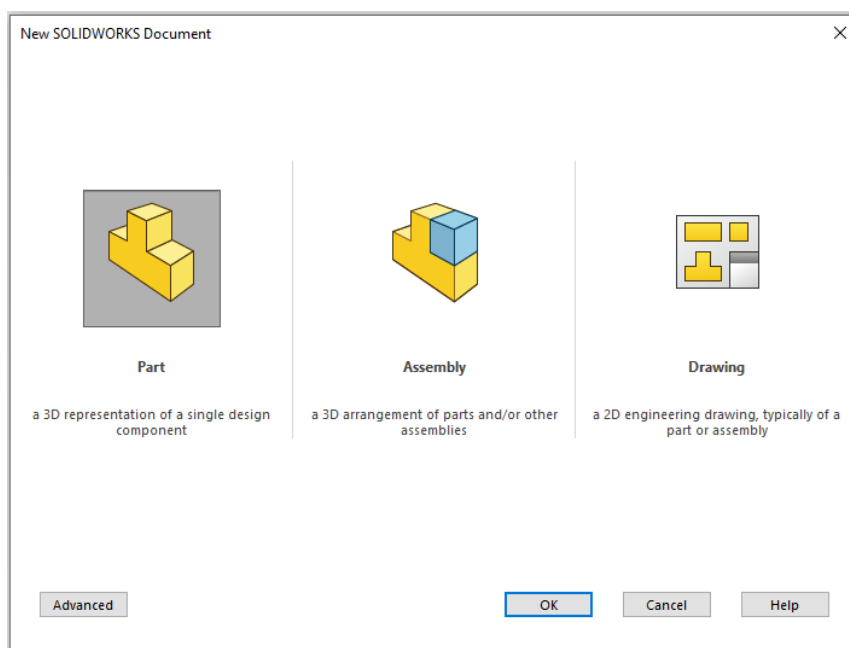


Рисунок 4.3 – Діалогове вікно Новий документ SOLIDWORKS

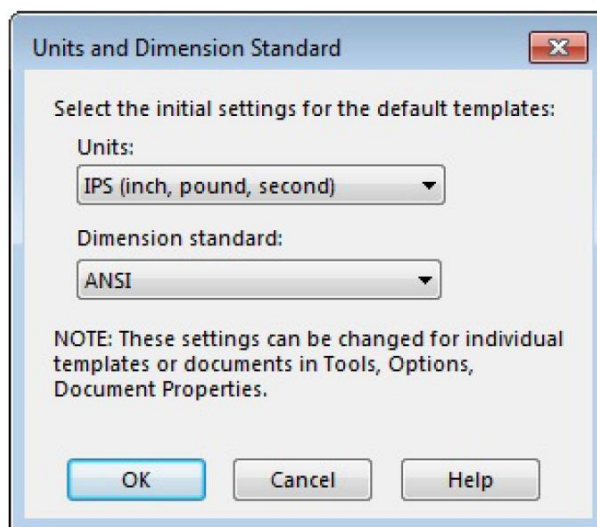


Рисунок 4.4 – Діалогове вікно Units and Dimension Standard

### ***Примітка***

*Якщо ви запускаєте SolidWorks уперше, то після відкриття діалогового вікна **New SOLIDWORKS Document** також з'явиться діалогове вікно **Units and Dimension Standard** (Одиниці вимірювання та стандарти розмірів), як показано*

на рисунку 4.4. У цьому вікні можна вибрати одиниці вимірювання та стандарти розмірів для SolidWorks.

В подальших розділах використовується система одиниць MMGS (міліметри, грами, секунди) та стандарт розмірів ISO.

Натисніть кнопку **Part**, щоб створити модель деталі, а потім натисніть **OK** у діалоговому вікні **New SOLIDWORKS Document**, щоб увійти в режим **Part** SolidWorks. Наведіть курсор на стрілку праворуч від логотипа SolidWorks, і відкриється меню SolidWorks.

Зверніть увагу, що панель завдань автоматично закривається, коли ви починаєте створювати новий файл і клацаєте в області креслення.

Початкове відображення екрана при створенні нового файлу деталі за допомогою кнопки **New** у рядку меню показано на рисунку 4.5.

### Порада

У SolidWorks в нижній частині панелі завдань відображається "порада дня". Ви можете вибрати **Next Tip** (Наступна порада), щоб переглянути додаткові поради. Ці рекомендації допоможуть вам ефективніше працювати з SolidWorks.

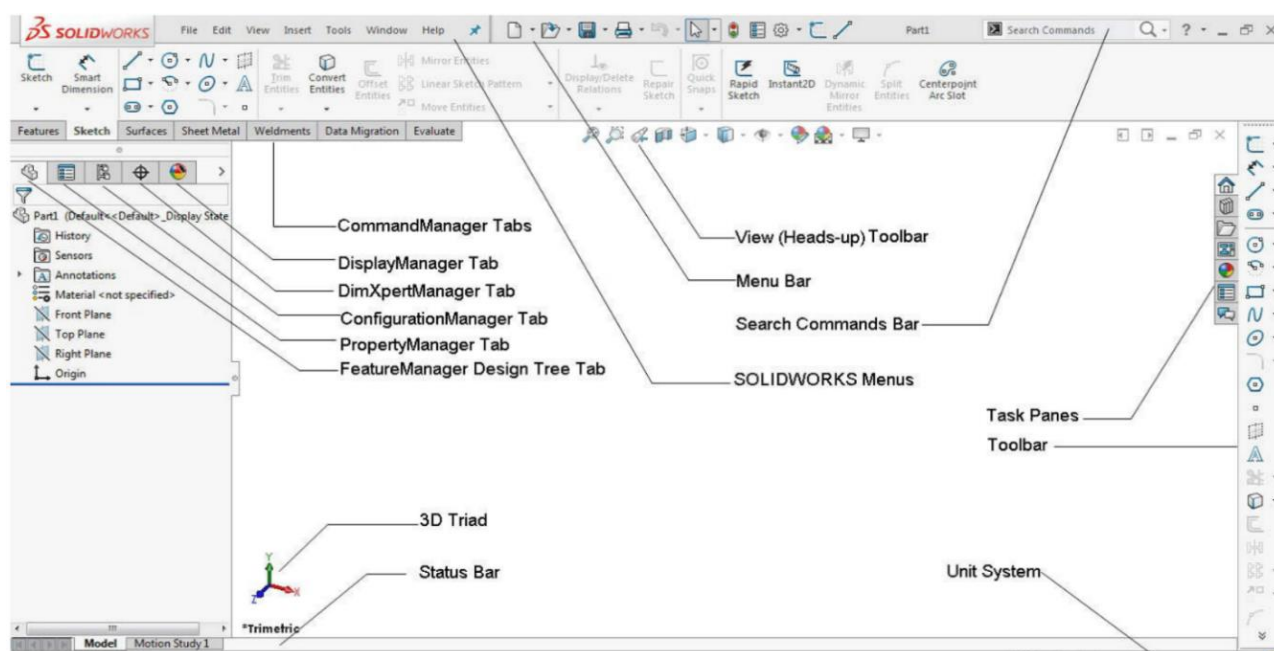


Рисунок 4.5 – Інтерфейс нового документа деталі

## 4.7 Рядок меню та меню SolidWorks

У SolidWorks область відображення екрану була збільшена завдяки групуванню інструментів, які мають схожі функції або цілі. Інструменти, що входять до стандартної панелі інструментів (**Standard toolbar**), також доступні у **Menu Bar** (Рядок меню), як показано на рисунку 4.6. Ця панель інструментів розташована над областю креслення.



Рисунок 4.6 – Рядок меню (Menu Bar)

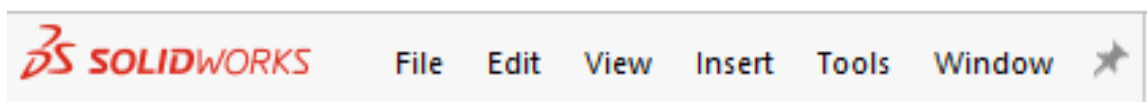


Рисунок 4.7 – Меню SolidWorks

Навівши курсор на стрілку праворуч від логотипу SolidWorks, відкриваються меню SolidWorks, як показано на рисунку 4.7. Також можна закріпити їх, вибравши кнопку з піктограмою "шпилька".

## 4.8 Панель команд (CommandManager)

У SolidWorks інструмент можна викликати з чотирьох місць: CommandManager, меню SolidWorks у верхній частині екрана, панелі інструментів або контекстного меню. CommandManagers розташовані над областю креслення.

Різні типи CommandManagers використовуються для різних середовищ проектування. Далі описані CommandManagers, які використовуються в режимах **Part**, **Assembly** та **Drawing**.

### 4.8.1 CommandManagers у режимі Part

У режимі **Part** можна викликати низку CommandManagers. Найбільш широко використовувані CommandManagers під час процесу проектування в цьому середовищі описані далі.



### ***Sketch CommandManager*** (Панель команд "Ескіз")

Ця панель команд використовується для входу та виходу з середовищ 2D- і 3D-ескізів. Інструменти, доступні в цій панелі, застосовуються для створення ескізів для елементів. Ця панель команд також використовується для додавання залежностей і розмірів до об'єктів ескізу. **Sketch CommandManager** показано на рисунку 4.8.

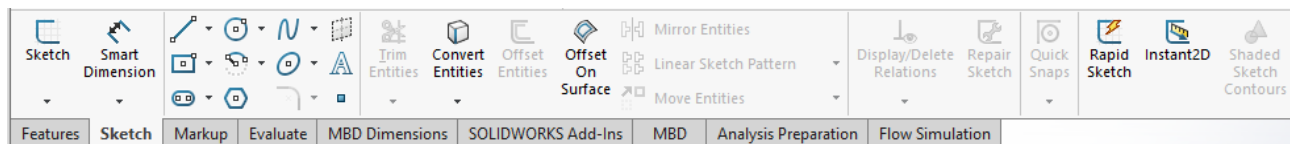


Рисунок 4.8 – Sketch CommandManager

### ***Features CommandManager*** (Панель команд "Елементи")

Це одна із найважливіших панелей команд, доступних у режимі **Part**. Після створення ескізу його необхідно перетворити на елемент за допомогою інструментів моделювання. Ця панель команд містить усі інструменти моделювання, які використовуються для створення тривимірних моделей. **Features CommandManager** показано на рисунку 4.9.

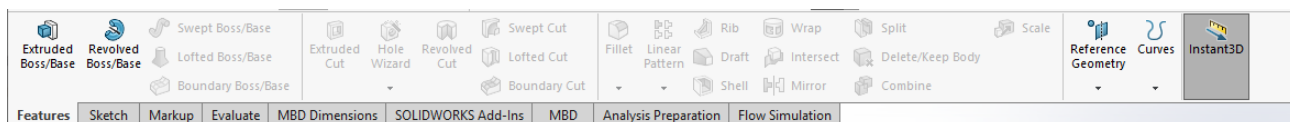


Рисунок 4.9 – Features CommandManager

### ***DimXpert CommandManager*** (Панель команд "DimXpert")

Ця панель команд використовується для додавання розмірів і допусків до елементів деталі. **DimXpert CommandManager** показано на рисунку 4.10.

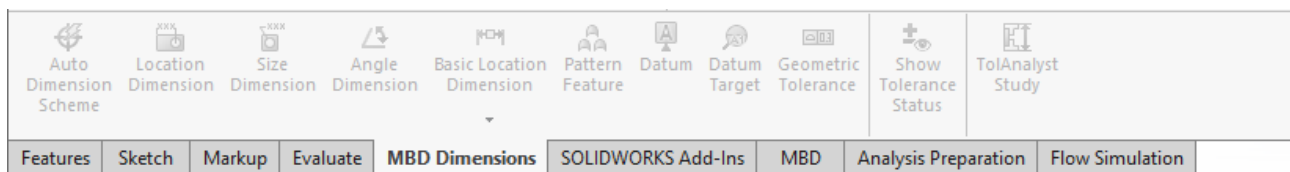


Рисунок 4.10 – DimXpert CommandManager

### ***Sheet Metal CommandManager*** (Панель команд "Листовий метал")

Ця панель команд надає інструменти, які використовуються для створення деталей з листового металу.

У SolidWorks можна також створювати деталі з листового металу в режимі **Part**. Це виконується за допомогою **Sheet Metal CommandManager**, показаного на рисунку 4.11.

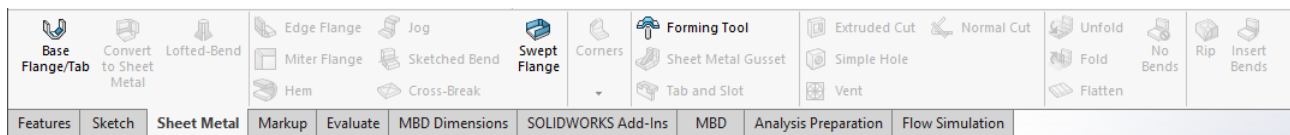


Рисунок 4.11 – Sheet Metal CommandManager

### ***Mold Tools CommandManager*** (Панель команд "Інструменти для прес-форм")

Інструменти цієї панелі команд використовуються для проектування прес-форм і вилучення їхньої основної частини та порожнини. **Mold Tools CommandManager** показано на рисунку 4.12.

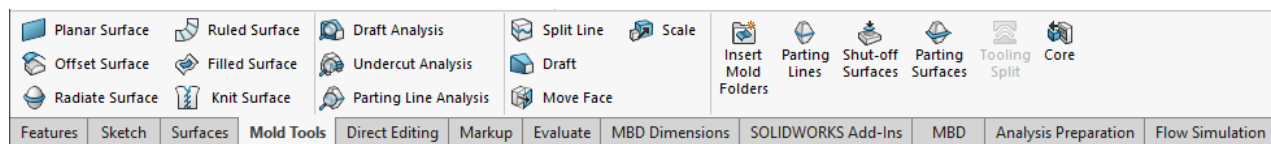


Рисунок 4.12 – Mold Tools CommandManager

### ***Evaluate CommandManager*** (Панель команд "Оцінка")

Дана панель команд використовується для вимірювання відстані між двома об'єктами, додавання рівнянь у проект, обчислення масових характеристик твердої моделі тощо. **Evaluate CommandManager** показано на рисунку 4.13.

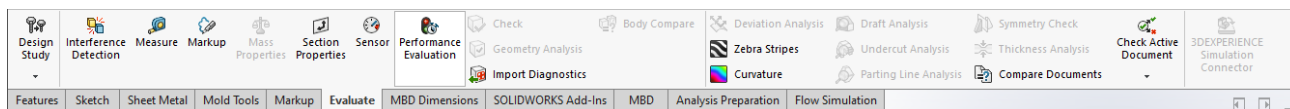


Рисунок 4.13 – Evaluate CommandManager

### ***Surfaces CommandManager*** (Панель команд "Поверхні")

Ця панель команд використовується для створення складних поверхневих елементів. Ці елементи можна перетворити на тверді об'єкти. **Surfaces CommandManager** приведено на рисунку 4.14.

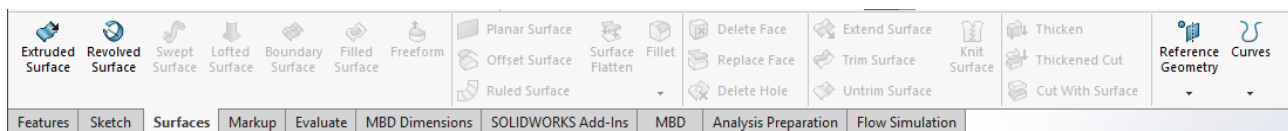


Рисунок 4.14 – Surfaces CommandManager

### ***Direct Editing CommandManager*** (Панель команд "Пряме редагування")

Дана панель команд містить інструменти (рисунок 4.15), які використовуються для редагування елементів.

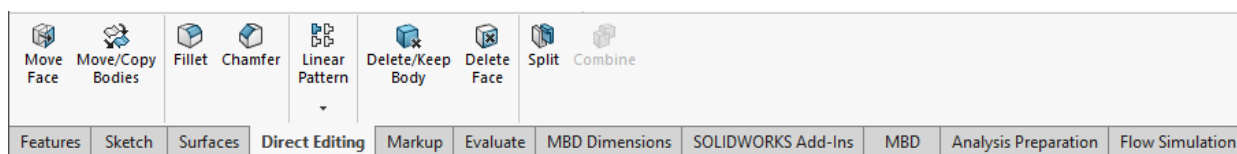


Рисунок 4.15 – Direct Editing CommandManager

### ***Data Migration CommandManager*** (Панель команд "Перенесення даних")

Ця панель команд містить інструменти (рисунок 4.16), які використовуються для роботи з моделями, створеними в інших програмних пакетах або середовищах.

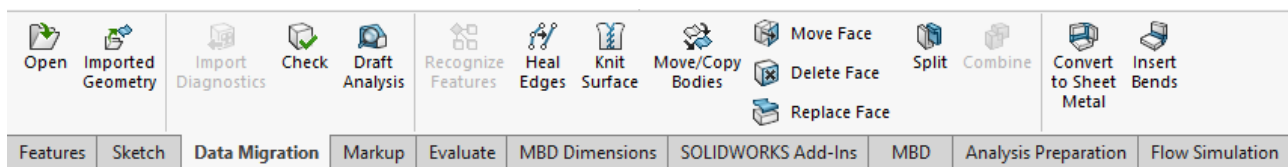


Рисунок 4.16 – Data Migration CommandManager

## **4.8.2 CommandManagers у режимі Assembly**

Панелі команд у режимі **Assembly** використовуються для збирання компонентів, створення ескізів ліній рознесеної схеми та моделювання збірки.

Далі описано CommandManagers, які застосовуються у цьому режимі.

### ***Assembly CommandManager*** (Панель команд "Збірка")

Дана панель команд використовується для вставки компонентів і застосування різних типів сполучень (**Mates**) у збірку. **Mates** – це обмеження, які можна застосовувати до компонентів, щоб обмежити їхні ступені свободи. Також можна переміщувати та обертати компонент у збірці, змінювати його стан приховування й подавлення, редагувати компоненти збірки тощо. **Assembly CommandManager** показано на рисунку 4.17.

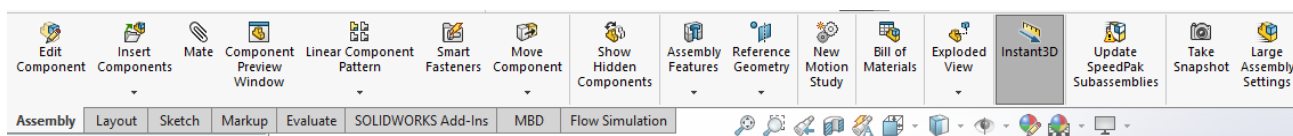


Рисунок 4.17 – Assembly CommandManager

### ***Layout CommandManager*** (Панель команд "Розміщення")

Інструменти цієї панелі команд (рисунок 4.18) використовуються для створення та редагування блоків.

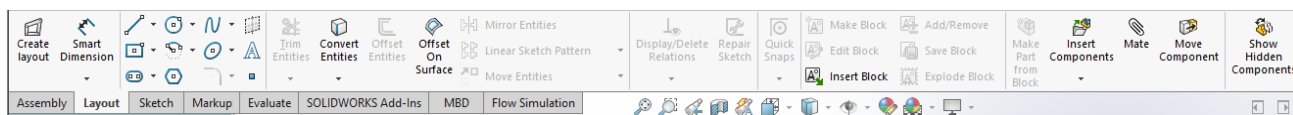


Рисунок 4.18 – Layout CommandManager

## **4.8.3 CommandManagers у режимі Drawing**

У режимі **Drawing** (Креслення) можна викликати кілька CommandManagers. Далі описані панелі команд, які часто використовуються у процесі проектування в цьому режимі.

### ***View Layout CommandManager*** (Панель команд "Розташування видів")

Ця панель команд використовується для створення видів креслення з існуючої моделі або збірки. Види, які можна створити за допомогою цього CommandManager, включають: **Model view** (Вид моделі), **Three standard views**

(Три стандартні види), **Projected view** (Проекційний вид), **Section view** (Переріз), **Aligned section view** (Суміщений переріз), **Detail view** (Деталізований вид), **Crop view** (Обрізаний вид), **Relative view** (Відносний вид), **Auxiliary view** (Допоміжний вид) тощо. **View Layout CommandManager** продемонстровано на рисунку 4.19.

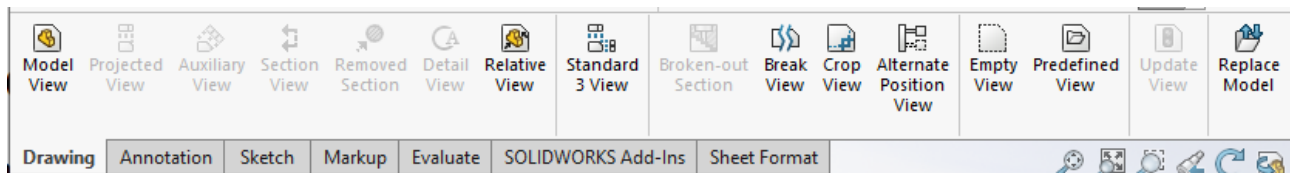


Рисунок 4.19 – Layout CommandManager

### ***Annotation CommandManager*** (Панель команд "Анотації")

Панель команд Annotation використовується для створення елементів моделі та додавання приміток, позначок (**Balloons**), геометричних допусків, символів чистоти поверхні тощо до видів креслення. **Annotation CommandManager** показано на рисунку 4.20.

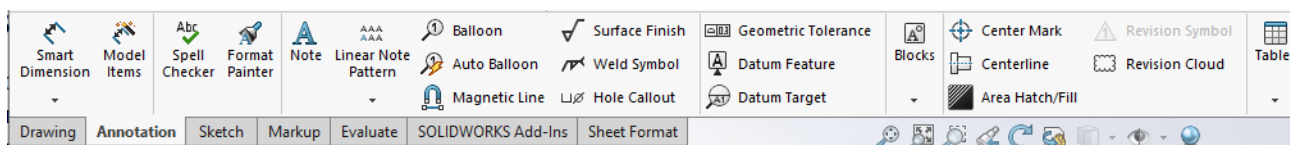


Рисунок 4.20 – Annotation CommandManager

### ***Customized CommandManager*** (Налаштована панель команд)

Якщо ви часто працюєте з певним набором інструментів, є можливість створити налаштовану панель команд відповідно до ваших потреб. Для цього клацніть правою кнопкою миші вкладку в CommandManager; відобразиться контекстне меню. Виберіть опцію **Customize CommandManager** (Налаштувати панель команд) у контекстному меню; відобразиться діалогове вікно **Customize** (Налаштування). Крім того, до панелі команд буде додано нову вкладку. Натисніть на цю вкладку; буде відображено спливаюче вікно з порожньою вкладкою (**Empty Tab**) як першою опцією, а потім буде показано список панелей

інструментів. Виберіть опцію **Empty Tab**; іншу вкладку під назвою Нова вкладка (**New Tab**) буде додано до CommandManager. Перейменуйте нову вкладку. Далі виберіть вкладку **Commands** в діалоговому вікні **Customize**. Виберіть команду зі списку категорій (**Categories**); інструменти відповідної команди будуть відображені в області кнопок (**Buttons area**). Виберіть інструмент, натисніть і утримуйте ліву кнопку миші та перетягніть інструмент до налаштованої панелі команд; інструмент буде додано до налаштованого CommandManager. Виберіть **OK** у діалоговому вікні **Customize**.

Щоб додати всі інструменти панелі інструментів до нового CommandManager, відкрийте діалогове вікно **Customize** та клацніть нову вкладку; відобразиться спливаюче вікно з порожньою вкладкою як першою опцією, за якою слідує список панелей інструментів. Виберіть панель інструментів у розкритому меню; усі інструменти на панелі інструментів буде додано до нової вкладки (**New Tab**), а її назву буде змінено на назву панелі інструментів.

Щоб видалити налаштований CommandManager, відкрийте діалогове вікно **Customize**, як описано раніше. Далі виберіть вкладку CommandManager, яку потрібно видалити, і клацніть правою кнопкою миші; відобразиться контекстне меню. Виберіть опцію Видалити (**Delete**) в контекстному меню; CommandManager буде видалено.

#### 4.9 Панелі інструментів (Toolbar)

У SolidWorks більшість інструментів можна викликати з CommandManager або через меню SolidWorks. Однак, якщо ви приховуєте CommandManager для збільшення області креслення, то можете використовувати панелі інструментів для виклику інструментів.

Щоб відобразити панель інструментів, клацніть правою кнопкою миші на CommandManager. У списку, що з'явиться, відобразяться всі панелі інструментів, доступні у SolidWorks. Виберіть потрібну панель інструментів.

#### 4.9.1 Спливаюча панель інструментів (Pop-up Toolbar)

Контекстна панель інструментів (**Pop-up Toolbar**) відображається, коли ви вибираєте елемент або об'єкт і не переміщуєте мишу. На рисунку 4.21 показано контекстну панель, яка відображається при виборі елемента або об'єкта.

Пам'ятайте, що ця панель зникне, якщо ви відведете курсор від вибраного елемента або об'єкта.



Рисунок 4.21 – Контекстна панель інструментів (Pop-up Toolbar)

Ви можете вимкнути відображення контекстної панелі інструментів. Для цього відкрийте діалогове вікно **Customize**. У розділі **Context toolbar Settings** вкладки **Toolbars** за замовчуванням встановлено прапорець **Show on selection** (Показувати при виборі). Це означає, що контекстна панель інструментів відображається за замовчуванням. Щоб вимкнути її, зніміть цей прапорець і натисніть кнопку **OK**.

#### 4.9.2 Панель інструментів перегляду (View (Heads-Up) Toolbar)

У SolidWorks деякі інструменти відображення згруповані разом і розміщені у панелі інструментів, яка відображається безпосередньо в області креслення, як показано на рисунку 4.22. Ця панель називається **View (Heads-Up) Toolbar**.



Рисунок 4.22 – Панель інструментів View (Heads-Up) Toolbar

#### 4.9.3 Налаштування панелей команд і панелей інструментів

У SolidWorks не всі кнопки за замовчуванням відображаються в панелях інструментів або панелях команд. Можна налаштувати й додати кнопки відповідно до своїх потреб.

Необхідно дотримуватись наступної інструкції, щоб налаштувати **CommandManagers** і **Toolbars**:

1. Виберіть **Tools > Customize** (Інструменти > Налаштувати) у меню SolidWorks або клацніть правою кнопкою миші на CommandManager і виберіть опцію **Customize**, щоб відкрити діалогове вікно **Customize**.

2. Виберіть вкладку **Commands** у діалоговому вікні **Customize**.

3. У списку **Categories** у діалоговому вікні **Customize** виберіть назву панелі інструментів; інструменти, доступні у вибраній панелі, будуть відображені у полі **Buttons**.

4. Натисніть на інструмент у полі **Buttons**; його опис відобразиться у розділі **Description** (Опис).

5. Натисніть і утримуйте ліву кнопку миші на інструменті в полі **Buttons**, перетягніть інструмент у CommandManager або на панель інструментів, а потім відпустіть кнопку миші, щоб розмістити інструмент у вибраному місці. Після цього натисніть **OK**.

Щоб видалити інструмент із CommandManager або панелі інструментів, відкрийте діалогове вікно **Customize** і перетягніть інструмент, який потрібно видалити, з CommandManager до графічної області.

#### 4.9.4 Панель швидкого доступу (Shortcut Bar)

Натискання клавіші **S** на клавіатурі відображає набір інструментів, доступних у поточному режимі, біля курсора. Цей набір інструментів називається **Shortcut Bar**.

Щоб налаштувати інструменти в **Shortcut Bar**, клацніть правою кнопкою миші на панелі й виберіть опцію **Customize**. Далі дотримуйтесь процедури, описаної раніше.

#### 4.10 Жести миші (Mouse Gestures)

У SolidWorks, коли ви натискаєте праву кнопку миші та перетягуєте курсор у будь-якому напрямку, відображається набір інструментів,



розташованих радіально. Цей набір називається **Mouse Gesture**. Після відображення інструментів за допомогою **Mouse Gesture** перемістіть курсор над потрібним інструментом, щоб викликати його.

За замовчуванням у **Mouse Gesture** відображаються чотири інструменти. Проте ви можете налаштувати **Mouse Gesture**, щоб відображати до восьми інструментів. Щоб налаштувати **Mouse Gesture**, відкрийте діалогове вікно **Customize** і виберіть вкладку **Mouse Gestures**. Далі вкажіть параметри у відповідних полях і натисніть кнопку **OK**.

На рисунку 4.23 показано інструменти, які відображаються за допомогою **Mouse Gesture** (після налаштування) у різних середовищах.

### ***Порада***

*Можна викликати деякі інструменти, натискаючи певні клавіші на клавіатурі. Щоб призначити інструменту гарячу клавішу, відкрийте вкладку **Keyboard** (Клавіатура) у діалоговому вікні **Customize Toolbar**. Введіть потрібну клавішу у стовпчику **Shortcut** навпроти відповідного інструмента, а потім натисніть **OK**.*



Інструменти, що відображаються в середовищі "Ескіз"



Інструменти, що відображаються в середовищі "Деталь"



Інструменти, що відображаються в середовищі "Креслення"

Рисунок 4.23 – Інструменти, що відображаються за допомогою **Mouse Gesture** у різних середовищах

#### **4.11 Стандарти розмірів і одиниці вимірювання**

Під час встановлення SolidWorks на комп'ютер можна вказати одиниці вимірювання та стандарти розмірів, які будуть використовуватися для моделювання. Є різні стандарти розмірів, такі як ANSI, ISO, DIN, JIS, BSI та GOST, а також одиниці вимірювання, наприклад міліметри, сантиметри, дюйми тощо.

В даному посібнику використовується система одиниць міліметри та стандарт розмірів ISO. Тому рекомендується встановлювати SolidWorks із використанням стандарту розмірів ISO та одиниць міліметри.

#### **4.12 Важливі терміни та їх визначення**

Перед тим як продовжити, дуже важливо зрозуміти наступні терміни, оскільки вони широко використовуються в термінології SolidWorks.

##### ***Feature-based Modeling*** (Моделювання на основі елементів)

Feature (елемент) визначається як найменший блок побудови, який можна змінювати індивідуально. У SolidWorks тверді моделі створюються шляхом об'єднання низки таких блоків побудови.

Модель, створена в SolidWorks, є комбінацією великої кількості індивідуальних елементів, які пов'язані одна з одною прямо чи опосередковано. Ці функції правильно розуміють свої взаємозв'язки та функції, тому їх можна змінити в будь-який момент процесу проектування. Якщо під час створення моделі враховується правильний дизайн-намір, ці елементи автоматично адаптуються до змін у середовищі побудови. Це забезпечує більшу гнучкість у проектуванні.

##### ***Parametric Modeling*** (Параметричне моделювання)

Параметрична природа програмного забезпечення визначається його здатністю використовувати стандартні властивості або параметри для визначення форми й розмірів геометрії. Основна функція цієї властивості –

змінювати обрану геометрію на новий розмір або форму без урахування її початкових розмірів.

Можна змінювати або модифікувати форму й розміри будь-якої функції на будь-якому етапі процесу проектування. Ця властивість значно спрощує процес створення дизайну.

Наприклад, розглянемо проект корпусу труби, показаний на рисунку 4.24. Щоб змінити дизайн, модифікувавши діаметр отворів і кількість отворів на передній, верхній та нижній поверхнях, потрібно вибрати елемент та змінити діаметр і кількість елементів у масиві. Змінену модель показано на рисунку 4.25.

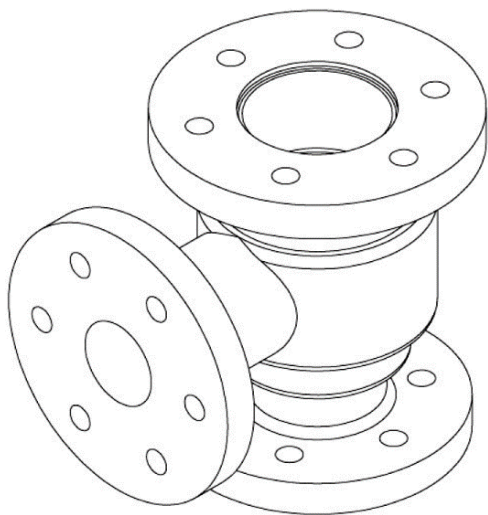


Рисунок 4.24 – Корпус труби

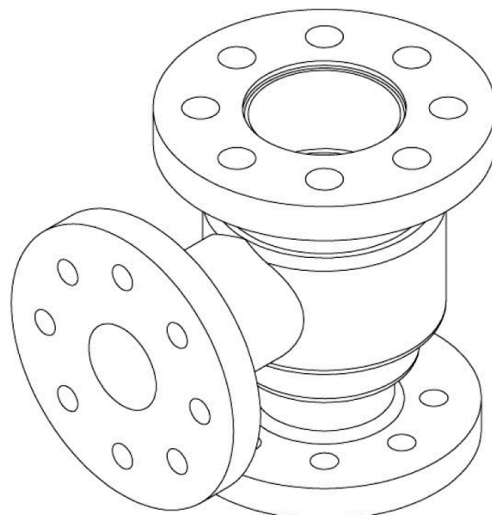


Рисунок 4.25 – Дизайн після модифікацій

### ***Bidirectional Associativity*** (Двостороння асоціативність)

Як уже зазначалося, у SolidWorks є різні режими, такі як **Part**, **Assembly** і **Drawing**. Між усіма цими режимами існує двостороння асоціативність.

Ця властивість забезпечує автоматичне відображення будь-яких змін у моделі, внесених в одному з цих режимів, у всіх інших режимах. Наприклад, якщо ви зміните розміри деталі в режимі **Part**, ці зміни автоматично відобразяться в режимах **Assembly** і **Drawing**.

Аналогічно, якщо ви змініте розміри деталі у вигляді креслення, створеного в режимі **Drawing**, ці зміни також відобразяться в режимах **Part** і **Assembly**.

На рисунку 4.26 показано види креслення корпусу труби, зображеного на рисунку 4.24. Якщо ви модифікуєте модель корпусу труби в режимі **Part**, зміни автоматично відобразяться у вигляді креслення. Рисунок 4.27 показує вигляд креслення корпусу труби після збільшення діаметра та кількості отворів.

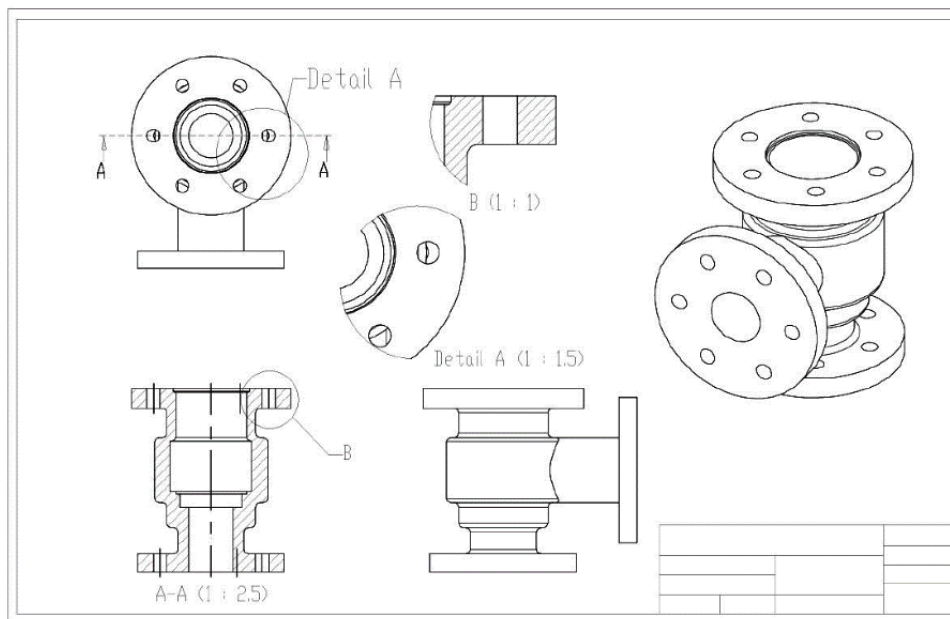


Рисунок 4.26 – Види креслення корпусу

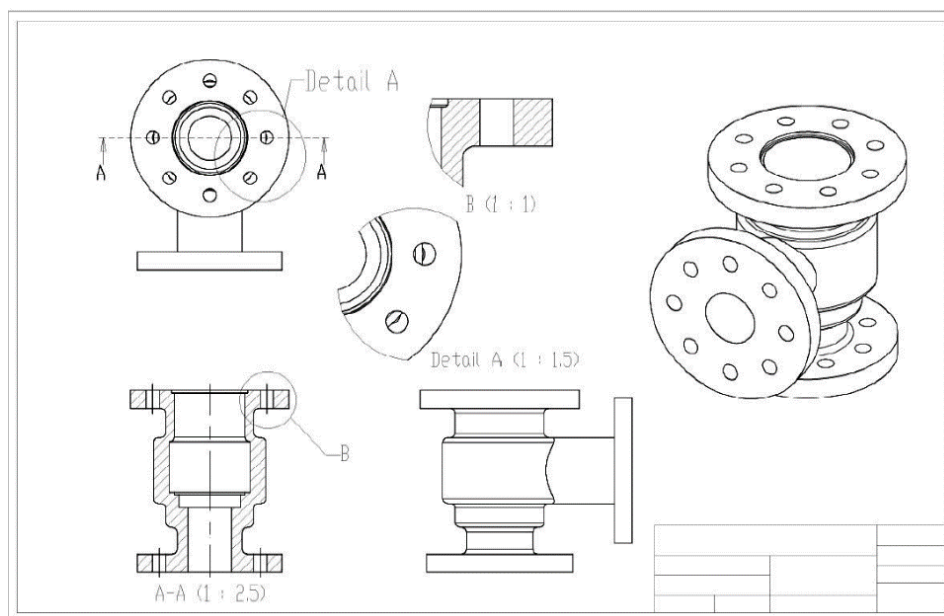


Рисунок 4.27 – Види креслення після модифікацій

## ***Функціональність Windows***

SolidWorks – це Windows-орієнтоване 3D CAD-програмне забезпечення. Воно використовує графічний інтерфейс Windows і функції, такі як перетягування (drag and drop), копіювання-вставка (copy-paste) тощо.

Наприклад, припустимо, що було створено елемент отвору на передній площині моделі. Тепер, щоб створити інший отвір на верхній площині тієї ж моделі, необхідно вибрати функцію отвору та натиснути **CTRL+C** (копіювати) на клавіатурі. Потім треба вибрати верхню площину базової функції та натиснути **CTRL+V** (вставити); скопійований елемент отвору буде вставлений на вибрану площину.

Також можна перетягувати стандартні функції з **Design Library Task Pane** на поверхню моделі, на якій потрібно додати елемент.

## ***Технологія SWIFT***

SWIFT – це аббревіатура від **SOLIDWORKS Intelligent Feature Technology** (Інтелектуальна технологія елементів SolidWorks). Ця технологія робить SolidWorks більш зручним у використанні. SWIFT допомагає користувачам зосереджуватися на проектуванні, а не на інструментах програмного забезпечення.

Інструменти, які використовують SWIFT, називаються **Xperts**. У SolidWorks доступні такі **Xperts**: **SketchXpert**, **FeatureXpert**, **DimXpert**, **AssemblyXpert**, **FilletXpert**, **DraftXpert** і **MateXpert**.

**SketchXpert** у середовищі ескізу використовується для вирішення конфліктів, що виникають під час застосування залежностей до ескізу. Аналогічно, **FeatureXpert** у режимі **Part** використовується у випадках, коли не вдається створити елементи заокруглення чи уклону.

## ***Geometric Relations*** (Геометричні залежності)

Геометричні залежності – це логічні операції, які застосовуються для створення зв'язків (наприклад, дотичність або перпендикулярність) між об'єктами ескізу, площинами, осями, ребрами чи вершинами.

Під час додавання залежностей один об'єкт може бути елементом ескізу, а інший – елементом ескізу, ребром, гранню, вершиною, початком координат, площиною тощо.

У SolidWorks існує два способи створення геометричних залежностей: **Automatic Relations** (Автоматичні залежності) та **Add Relations** (Додати залежності).

### ***Automatic Relations***

У середовищі ескізу SolidWorks передбачено можливість автоматичного застосування залежностей (**Automatic Relations**). Ця функція забезпечує автоматичне додавання геометричних залежностей до ескізу під час його створення.

Автоматичні залежності також застосовуються в режимі **Drawing** під час роботи з інтерактивним проектуванням (**Interactive drafting**).

### ***Add Relations***

Інструмент **Add Relations** використовується для ручного додавання геометричних залежностей до ескізу. У SolidWorks доступні 16 типів геометричних залежностей, які можна застосувати вручну. Ось їх перелік:

#### ***Horizontal*** (Горизонтальність)

Ця залежність примушує вибраний сегмент лінії стати горизонтальним. Також можна вибрати дві точки та вирівняти їх по горизонталі.

#### ***Vertical*** (Вертикальність)

Ця залежність примушує вибраний сегмент лінії стати вертикальним. Ви також можете вибрати дві точки та вирівняти їх по вертикалі.

#### ***Collinear*** (Колінеарність)

Ця залежність примушує дві вибрані лінії розташовуватися на одній прямій.

#### ***Coradial*** (Співрадіусність)

Ця залежність застосовується до двох вибраних дуг, двох кіл або дуги й кола, примушуючи їх мати однаковий радіус і спільний центр.

***Perpendicular*** (Перпендикулярність)

Ця залежність використовується для того, щоб зробити вибраний сегмент лінії перпендикулярним до іншого сегмента.

***Parallel*** (Паралельність)

Ця залежність використовується для того, щоб зробити вибраний сегмент лінії паралельним до іншого сегмента.

***Tangent*** (Дотичність)

Ця залежність використовується для того, щоб зробити вибраний сегмент лінії, дугу, сплайн, коло або еліпс дотичними до іншої дуги, кола, сплайна або еліпса.

***Примітка***

*У випадку сплайнів залежності застосовуються до їхніх контрольних точок.*

***Concentric*** (Концентричність)

Ця залежність примушує дві вибрані дуги, кола, точку та дугу, точку та коло або дугу та коло мати спільний центр.

***Midpoint*** (Середня точка)

Ця залежність примушує вибрану точку розташовуватися в середині лінії.

***Intersection*** (Точка перетину)

Ця залежність примушує вибрану точку розташовуватися в точці перетину двох вибраних об'єктів.

***Coincident*** (Співпадіння)

Ця залежність використовується для того, щоб точка збігалася з іншою точкою, лінією або дугою.

***Equal*** (Рівність)

Залежність **Equal** примушує дві вибрані лінії стати рівними за довжиною. Ця залежність також використовується для примушування двох дуг, двох кіл або дуги й кола мати однаковий радіус.

### ***Symmetric*** (Симетричність)

Залежність **Symmetric** примушує вибрані об'єкти бути симетричними відносно вибраної осі, щоб вони залишалися однаково віддаленими від осі.

### ***Fix*** (Фіксація)

Ця залежність використовується для того, щоб зафіксувати вибраний об'єкт у певному місці відносно системи координат. Кінцеві точки зафіксованого сегмента лінії, дуги, сплайна або еліптичного сегмента можуть переміщатися тільки вздовж цього об'єкта.

### ***Pierce*** (Пронизування)

Ця залежність примушує точку ескізу збігатися з вибраною віссю, ребром або кривою в точці їхнього перетину з площиною ескізу. Точка ескізу в цій залежності може бути кінцевою точкою елемента ескізу.

### ***Merge*** (Об'єднання)

Ця залежність використовується для об'єднання двох точок ескізу або кінцевих точок об'єктів.

### ***Blocks*** (Блоки)

Блок – це набір об'єктів, згрупованих разом, щоб діяти як єдине ціле. Блоки використовуються для створення складних механізмів у вигляді ескізів і перевірки їх функціонування перед розробкою їх у складні 3D-моделі.

### ***Library Feature*** (Бібліотечний елемент)

Зазвичай, у механічному проектуванні деякі елементи використовуються часто. У більшості інших інструментів твердотілого моделювання вам потрібно створювати ці елементи щоразу, коли вони потрібні.

Однак SOLIDWORKS дозволяє зберігати ці елементи в бібліотеці, щоб була змога отримати їх у будь-який час.

### ***Design Table*** (Таблиця проектування)

Таблиці проектування (**Design tables**) використовуються для створення параметричних компонентів із кількома екземплярами. Наприклад, деякі



компоненти у вашому проекті можуть мати однакову геометрію, але різні розміри. Замість створення кожного компонента з однаковою геометрією, але різними розмірами, ви можете створити один компонент, а потім, використовуючи **Design Table**, створювати різні екземпляри компонента, змінюючи розміри відповідно до ваших вимог. Усі ці компоненти можна отримати в одному файлі деталей.

### ***Equations*** (Рівняння)

Рівняння (**Equations**) – це аналітичні та числові формули, які застосовуються до розмірів під час створення ескізу функції або після його створення. Рівняння також можуть бути застосовані до вже створених елементів.

### ***Collision Detection*** (Виявлення зіткнень)

Виявлення зіткнень (**Collision Detection**) використовується для виявлення перешкод і зіткнень між частинами збірки, коли збірка перебуває в русі. У процесі створення збірки в SOLIDWORKS можна виявляти зіткнення між частинами, переміщуючи або обертаючи їх.

### ***What's Wrong Functionality*** (Функціональність «Що не так?»)

Під час створення елемента моделі або після редагування елемента, якщо геометрія елемента несумісна, і система не може побудувати цей елемент, функція "What's Wrong" використовується для виявлення можливих помилок, які могли виникнути під час створення елемента.

### ***2D Command Line Emulator*** (Емулятор командного рядка 2D)

**2D Command Line Emulator** – це доповнення для SOLIDWORKS. Його можна активувати, обравши **Tools > Add-Ins** (Інструменти > Доповнення) з меню SOLIDWORKS. Після цього з'явиться діалогове вікно **Add-Ins**. Виберіть прапорець **SOLIDWORKS 2D Emulator** і натисніть **OK** у діалоговому вікні **Add-Ins**; у нижній частині графічної області відобразиться секція команд.

**2D Command Line Emulator** корисний для виклику команд шляхом їх введення. Можна вводити команди в **2D Command Line Emulator**.

### ***SimulationXpress***

У SOLIDWORKS є інструмент аналізу під назвою **SimulationXpress**, який використовується для виконання статичного або напруженого аналізу. У **SimulationXpress** можна виконувати тільки лінійний статичний аналіз. Використовуючи лінійний статичний аналіз, можна обчислити переміщення, деформацію та напруження, прикладені до компонента з урахуванням матеріалу, різних умов навантаження та обмежень, застосованих до моделі. Компонент виходить із ладу, коли напруження, прикладене до нього, перевищує певну допустиму межу.

Статичний вузловий графік напружень гака крана, розробленого в SOLIDWORKS і проаналізованого за допомогою **SimulationXpress**, показаний на рисунку 4.28.

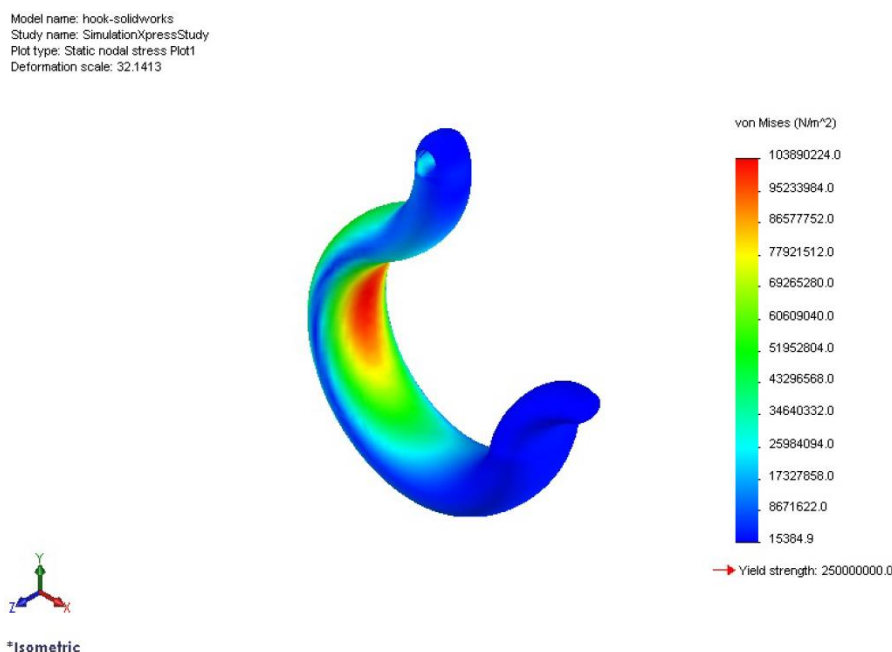


Рисунок 4.28 – Гак крана проаналізованого за допомогою SimulationXpress

### ***Physical Dynamics*** (Фізична динаміка)

**Physical Dynamics** використовується для спостереження за рухом збірки. При виборі цієї опції компонент, який перетягується в збірці, застосовує силу до

компонента, якого він торкається. У результаті інший компонент переміщується або обертається в межах своїх допустимих ступенів свободи.

### ***Physical Simulation*** (Фізична симуляція)

**Physical Simulation** використовується для симуляції збірок, створених у середовищі збірок SOLIDWORKS. Можна призначати та моделювати ефекти різних елементів симуляції, таких як лінійні або обертові мотори, а також гравітацію. Після створення симульованої збірки є можливість записати та відтворити симуляцію.

### ***Seed Feature*** (Початковий елемент)

Оригінальний елемент, який використовується як вихідний для створення будь-якого типу шаблону або дзеркального елемента, називається **Seed Feature**. Можна редагувати або змінювати лише **Seed Feature**. Ви не можете редагувати екземпляри функції шаблону.

### ***FeatureManager Design Tree*** (Дерево проектування FeatureManager)

**FeatureManager Design Tree** є одним із найважливіших компонентів екрана SOLIDWORKS. Він містить інформацію про стандартні площини, матеріали, освітлення та всі функції, додані до моделі. Коли користувач додає елементи до моделі за допомогою різних інструментів моделювання, вони також відображаються в **FeatureManager Design Tree**. Можна легко вибрати та редагувати елементи, використовуючи **FeatureManager Design Tree**. При виклику будь-якого інструменту для створення елемента, **FeatureManager Design Tree** замінюється відповідним Менеджером властивостей. У цей момент **FeatureManager Design Tree** відображається в області креслення.

### ***Absorbed Features*** (Поглинені елементи)

Елементи, які безпосередньо беруть участь у створенні інших елементів, називаються **Absorbed Features**. Наприклад, ескіз витягнутого елемента є поглиненою функцією витягнутого елемента.

### ***Child Features*** (Похідні елементи)

Елементи, які залежать від їхньої вихідної елементу та не можуть існувати без нього, називаються **Child Features**. Наприклад, у моделі з елементом витягування та заокругленими краями, якщо ви видалите елемент витягування, елемент заокруглення також буде видалено, оскільки його існування неможливе без вихідного елемента.

### ***Dependent Features*** (Залежні елементи)

**Dependent Features** – це елементи, які залежать від їхнього вихідного елемента, але все ж можуть існувати без нього з деякими незначними змінами. Якщо вихідний елемент видаляється, то шляхом зазначення інших посилань і модифікації елемента ви можете зберегти залежні елементи.

## **4.13 Опція автоматичного збереження (Auto-backup option)**

SOLIDWORKS також дозволяє налаштувати опцію автоматичного збереження документа через регулярні проміжки часу. Під час роботи над проектом, якщо система зависне, ви можете втратити незбережені дані. Якщо опція автоматичного збереження увімкнена, ваші дані будуть автоматично зберігатися через встановлені інтервали. Щоб увімкнути цю опцію, оберіть **Tools > Options** (Інструменти > Параметри) у меню SOLIDWORKS; відкриється діалогове вікно **System Options – General** (Системні параметри – Загальні). Виберіть **Backup/Recover** (Резервне копіювання/Відновлення) у лівій частині діалогового вікна. Далі поставте прапорець **Save auto-recover information every** (Зберігати інформацію для автоматичного відновлення), якщо він не встановлений за замовчуванням.

Після цього будуть доступні інструменти налаштування часу та кількості змін, після яких документ буде збережено автоматично.

За замовчуванням файли резервних копій зберігаються в каталозі **X:\Users<ім'я>\AppData\Local\TempSWBackupDirectory\swxauto**, де X – це диск, на який встановлено SOLIDWORKS, а папка **AppData** є прихованою.

Також можна змінити шлях збереження файлів. Для цього необхідно натиснути кнопку праворуч від текстового поля; з'явиться діалогове вікно **Browse For Folder** (Огляд папок), у якому можна вказати нову папку для збереження файлів.

Якщо потрібно зберігати резервні копії у поточній папці, треба вибрати опцію **Number of backup copies per document** (Кількість резервних копій на документ), а потім натиснути **Save backup files in the same location as the original** (Зберігати резервні копії в тій самій папці, що й оригінал). Після налаштування вибрати **OK**.

#### 4.14 Вибір прихованих елементів

Іноді під час роботи з моделлю потрібно вибрати елемент, який прихований за іншим елементом або не відображається в поточному орієнтаційному вигляді.

SOLIDWORKS дозволяє вибирати ці елементи за допомогою опції **Select Other** (Вибрати інше). Наприклад, якщо потрібно вибрати задню поверхню моделі, яка не відображається в поточному орієнтаційному вигляді, необхідно навести курсор на видиму поверхню, щоб він був також на одній лінії із задньою поверхнею. Далі треба натиснути на передню поверхню та вибрати **Select Other** у спливаючій панелі інструментів; курсор зміниться, і з'явиться список **Select Other**, у якому відобразяться всі доступні для вибору елементи. Можна вибрати приховану поверхню, використовуючи цей список.

#### 4.15 Гарячі клавіші (Hot keys)

SOLIDWORKS найчастіше відомий своєю функціональністю миші, проте також можна використовувати клавіші клавіатури для виклику інструментів, вікон, діалогових вікон тощо. Ці клавіші називаються гарячими клавішами (**Hot Keys**). В таблиці 4.1 наведено список гарячих клавіш та їхніх функцій.

Таблиця 4.1 – Гарячі клавіші в SolidWorks

| Hot Key      | Function                                                                             |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| F11          | Повноекранний режим                                                                  |
| S            | Викликає <b>Shortcut Bar</b> (Панель швидкого доступу)                               |
| R            | Відкриває список <b>Recent Documents</b> (Останніх документів)                       |
| F            | Підлаштовує об'єкт під розмір екрану                                                 |
| Z            | Віддаляє зображення                                                                  |
| SPACE BAR    | Викликає меню <b>Orientation</b> (Орієнтації)                                        |
| CTRL+1       | Змінює поточний вигляд на <b>Front View</b> (Вид спереду)                            |
| CTRL+2       | Змінює поточний вигляд на <b>Back View</b> (Вид ззаду)                               |
| CTRL+3       | Змінює поточний вигляд на <b>Left View</b> (Вид зліва)                               |
| CTRL+4       | Змінює поточний вигляд на <b>Right View</b> (Вид справа)                             |
| CTRL+5       | Змінює поточний вигляд на <b>Top View</b> (Вид зверху)                               |
| CTRL+6       | Змінює поточний вигляд на <b>Bottom View</b> (Вид знизу)                             |
| CTRL+7       | Змінює поточний вигляд на <b>Isometric View</b> (Ізометричний вигляд)                |
| CTRL+8       | Змінює поточний вигляд на <b>Normal View</b> (Нормальний вигляд)                     |
| CTRL+SHIFT+Z | Змінює поточний вигляд на <b>Previous View</b> (Попередній вигляд)                   |
| CTRL+Arrows  | Переміщує функцію у напрямку стрілок                                                 |
| SHIFT+Arrows | Обертає функцію у напрямку стрілок                                                   |
| CTRL+B       | Виконує <b>Rebuild</b> (Перебудову) моделі                                           |
| CTRL+Z       | Викликає <b>Undo</b> (Скасування)                                                    |
| CTRL+N       | Відкриває діалогове вікно <b>New SOLIDWORKS Document</b> (Новий документ SOLIDWORKS) |
| CTRL+O       | Відкриває вікно <b>Open</b> (Відкрити)                                               |
| CTRL+S       | Зберігає документ                                                                    |

| Hot Key | Function                      |
|---------|-------------------------------|
| CTRL+P  | Друкує документ               |
| CTRL+A  | Виділяє всі частини документа |
| CTRL+C  | Копіює вибрану функцію        |
| CTRL+V  | Вставляє вибрану функцію      |
| CTRL+X  | Вирізає вибрану функцію       |

#### 4.16 Кольорова схема

SOLIDWORKS дозволяє використовувати різні кольорові схеми як для фону екрана, так і для відображення **FeatureManager Design Tree** (Дерева проектування FeatureManager), а також для відображення елементів на екрані. Зверніть увагу, що кольорова схема, використана в цій книзі, не є стандартною чи заздалегідь визначеною.

Щоб налаштувати кольорову схему, оберіть **Tools > Options** (Інструменти > Опції) у меню SOLIDWORKS; відкриється діалогове вікно **System Options – General** (Системні параметри – Загальні). Виберіть **Colors** (Кольори) у лівій частині діалогового вікна; параметри кольорової схеми відобразяться праворуч. У списку доступних параметрів у розділі **Color scheme settings** (Налаштування кольорової схеми) знайдіть опцію **Viewport Background** (Фон області перегляду).

#### Питання для самоконтролю

1. Що таке SolidWorks і для яких цілей використовується це програмне забезпечення?
2. Які основні функції надає SolidWorks у режимі Part (Деталь)?
3. Що таке Hole Wizard (Майстер отворів), і які типи отворів можна створювати за його допомогою?
4. Які два методи складання компонентів доступні в режимі Assembly (Збірка), і в чому їх відмінність?

5. Яка роль інструмента Mate (З'єднання/сполучення) у режимі Assembly?
6. Що таке двостороння асоціативність, і як вона працює між режимами Part, Assembly і Drawing?
7. Як налаштувати панель швидкого доступу (Shortcut Bar) і які інструменти можна додати до неї?
8. Як у SolidWorks можна створити та редагувати користувацькі бібліотеки стандартних компонентів?
9. Як використовується Дерево проектування FeatureManager під час моделювання?
10. Що таке SimulationXpress і для яких видів аналізу використовується цей інструмент?



## 5 ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ПРОСУНУТОГО МОДЕЛЮВАННЯ В SOLIDWORKS

У цьому розділі розглядаються інструменти для просунутого моделювання в SolidWorks, які дозволяють створювати точну геометрію та забезпечують фіксацію наміру проектування.

Особливу увагу приділено способам створення отворів за допомогою інструментів **Simple Hole** (Простий отвір) і **Hole Wizard** (Майстер отворів). Інструмент **Hole Wizard** забезпечує створення стандартних отворів, класифікованих за промисловими стандартами, типом гвинта та розміром, і широко використовується в CAD-програмах для проектування таких елементів.

Окрім цього, розглянуто додаткові інструменти для моделювання, такі як заокруглення, фаски, дзеркальне відображення та створення масивів (шаблонів), які спрощують процес розробки складних компонентів.

### 5.1 Проектування деталі з використанням інструментів для просунутого моделювання

#### Завдання 1

У цьому завданні розглянуто створення моделі, показаної на рисунку 5.1. Розміри та вигляди моделі також представлені на цьому рисунку.

#### Необхідні кроки для виконання цього завдання:

- а) Розпочати новий документ деталі в SOLIDWORKS і створити базову деталь моделі на площині справа (рис. 5.2)
- б) Створити другу деталь, яка є витягнутим елементом, на правій площині базової деталі, як показано на рисунках 5.4 і 5.5.
- в) Створити елемент вирізання на верхній площині другої деталі (рис. 5.6 і 5.7).
- г) Створити дзеркальну копію раніше створеного вирізу (рис. 5.8).
- д) Створити ребро за допомогою інструмента **Rib** (Ребро) (рис. 5.13).

м)Зберегти модель.



## Створення базової деталі

1. Створіть новий документ деталі у SOLIDWORKS за допомогою діалогового вікна **New SOLIDWORKS Document**.
2. Викличте інструмент **Extruded Boss/Base** (Витягнуте тіло) і виберіть площину **Right Plane** (Площина справа) як площину для створення ескізу.
3. Нарисуйте ескіз базової деталі моделі, як показано на рисунку 5.2.
4. Вийдіть із середовища створення ескізу; відкриється **Boss-Extrude PropertyManager** (Менеджер властивостей Витягнутого тіла).
5. Переконайтеся, що в спадному меню **End Condition** (Кінцева умова) розділу **Direction 1** (Напрямок 1) у PropertyManager вибрано параметр **Blind** (На задану відстань).
6. Установіть значення глибини в полі **Depth** (Глибина) на 13 мм. Далі натисніть кнопку **OK** у PropertyManager; базова деталь моделі буде створена. Ізометричний вигляд моделі показано на рисунку 5.3.

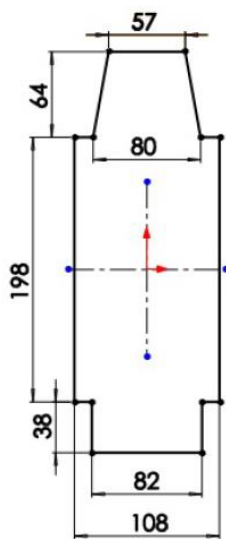


Рисунок 5.2 – Ескіз базової деталі



Рисунок 5.3 – Ізометричний вигляд базової деталі

## Створення елемента видавлювання

Другим елементом моделі є елемент видавлювання. Ескіз цього елемента видавлювання буде створено на площині **Front Plane** (Площина спереду) і видавлено за допомогою параметра **Mid Plane** (Середня площина).

1. Викличте інструмент **Extruded Boss/Base** (Видавлювання тіла) та оберіть **Front Plane** (Площина спереду) як площину для ескізу.
2. Нарисуйте ескіз другого елемента моделі, як показано на рисунку 5.4.
3. Вийдіть з середовища ескізу; відкриється вікно **Boss-Extrude PropertyManager** (Менеджер властивостей видавлювання тіла).
4. Виберіть параметр **Mid Plane** у випадаючому списку **End Condition** у секції **Direction 1** у вікні PropertyManager.
5. Встановіть значення глибини (**Depth**) на 60 мм. Потім натисніть **OK** у вікні PropertyManager; елемент видавлювання створено. Ізометричний вид моделі після створення другого елемента показано на рисунку 7.5.

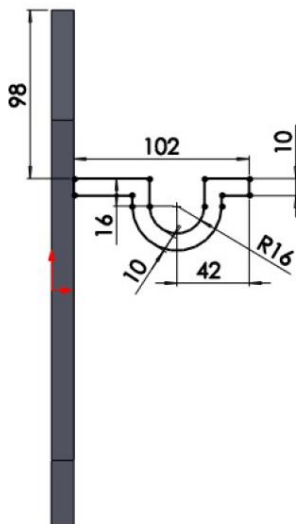


Рисунок 5.4 – Ескіз базової деталі

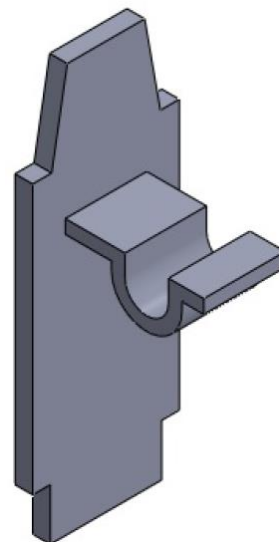


Рисунок 5.5 – Модель після створення базової деталі

### Створення вирізу

Третім елементом моделі є виріз. Ескіз вирізу буде створено на верхній площині другого елемента. Цей ескіз буде видавлено за допомогою параметра **Through All** (Крізь усе), щоб створити виріз.

1. Викличте інструмент **Extruded Cut** (Виріз видавлюванням) та оберіть верхню площину другого елемента як площину для ескізу.
2. Встановіть нормальний вид до площини ескізу та нарисуйте ескіз вирізу за допомогою інструментів малювання, як показано на рисунку 5.6.

### ***Примітка***

*Ескіз елемента вирізу видавлювання складається з двох замкнених контурів.*

Далі можна змінити поточний режим відображення моделі на режим **Hidden Lines Visible** (Приховані лінії Видимі) для кращої видимості.

3. Виберіть кнопку **Display Style** (Стиль відображення) на панелі **View (Heads-Up)**; відкриється меню **Display Style** (Стиль відображення).

4. Виберіть кнопку **Hidden Lines Visible** (Видимі приховані лінії) з меню **Display Style**; поточний режим відображення моделі зміниться на режим видимих прихованих ліній (див. рис. 5.7).

Інструмент **Hidden Lines Visible** з меню **Display Style** використовується для відображення моделі у вигляді каркаса, де приховані ребра моделі відображаються пунктирними лініями.

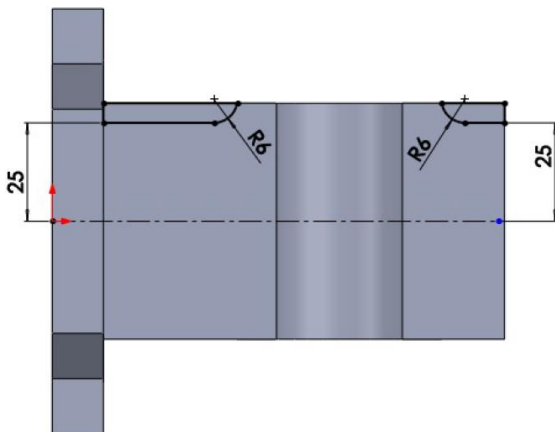


Рисунок 5.6 – Ескіз для функції витягнутого вирізу

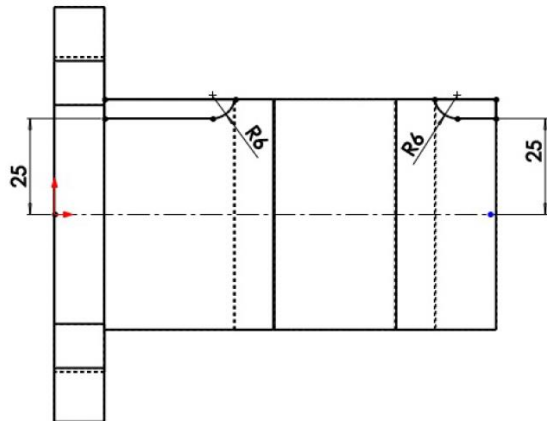


Рисунок 5.7 – Модель, відображена в режимі Hidden Lines Visible

Якщо вибрати кнопку **Wireframe** (Каркас) із меню **Display Style**, усі приховані ребра моделі відображатимуться разом із видимими ребрами. Зауважте, що в складній моделі дуже складно розрізнити видимі та приховані

лінії, якщо активовано режим **Wireframe**. Інструмент **Hidden Lines Removed** (Приховані лінії видалено) із цього меню використовується для відображення тільки тих ребер, які є видимими у поточному вигляді моделі. У цьому випадку приховані ребра моделі не будуть відображатися.

Режим **Shaded With Edges** (Затінено з краями) є стандартно обраним режимом, у якому модель залишається затіненою, а ребра видимих граней моделі відображаються. Режим **Shaded** (Затінено) подібний до режиму **Shaded With Edges**, за винятком того, що у режимі **Shaded** ребра видимих граней не відображаються.

5. Вийдіть із середовища ескізу; відкриється вікно **Cut-Extrude PropertyManager**.

Попередній перегляд вирізу буде показано у зоні креслення.

6. Змініть орієнтацію перегляду на ізометричну.

7. Клацніть правою кнопкою миші у зоні креслення та оберіть **Through All** (Крізь усе) у контекстному меню. Потім натисніть **OK** у вікні PropertyManager.

8. Змініть поточний режим відображення моделі на **Shaded With Edges**, як було зазначено раніше.

Модель після створення вирізу показано на рисунку 5.8.

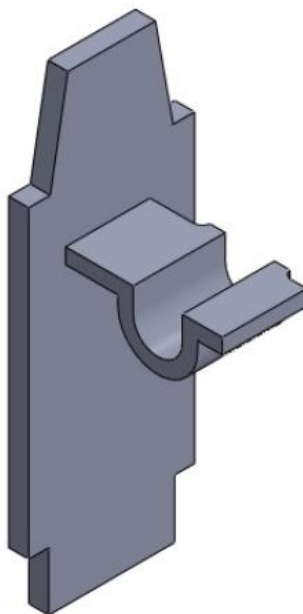


Рисунок 5.8 – Модель після створення вирізу

## Створення дзеркального елемента

Тепер потрібно створити дзеркальну копію нещодавно створеного вирізу за допомогою інструменту **Mirror** (Дзеркальне відображення).

1. Оберіть інструмент **Mirror** на панелі **Features CommandManager** (Панель інструментів створення елементів); зліва від зони креслення з'явиться **Mirror PropertyManager** (Менеджер властивостей дзеркала), як показано на рисунку 5.9. Крім того, буде запропоновано вибрати площину або плоску грань, відносно якої елементи будуть дзеркально відображені, а потім вибрати елементи для дзеркального відображення.

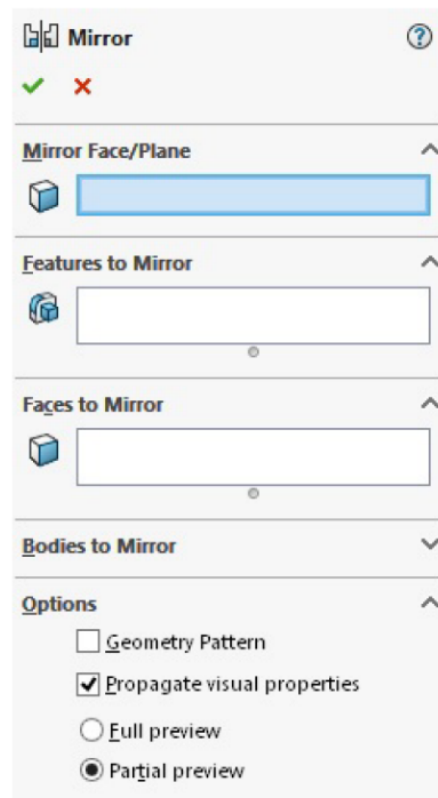


Рисунок 5.9 – Менеджер властивостей Mirror

Інструмент **Mirror** використовується для дзеркального відображення обраного елемента, грані або тіла відносно заданої площини дзеркала, яка може бути опорною площиною або плоскою гранню.

- **Mirror Face/Plane** (Грань/площина дзеркального відображення): використовується для вказівки площини або плоскої грані, відносно якої елементи будуть дзеркально відображені.

- **Features to Mirror** (Елементи для дзеркального відображення): дозволяє вибрати елементи для дзеркального відображення відносно обраної площини.
- **Faces to Mirror** (Грані для дзеркального відображення): дозволяє вибрати грані для дзеркального відображення. Зверніть увагу, що обрані для дзеркального відображення грані повинні утворювати замкнений об'єм.
- **Bodies to Mirror** (Тіла для дзеркального відображення): дозволяє вибрати тіла для дзеркального відображення.

### **Примітка**

*За замовчуванням у секції **Options** (Параметри) менеджера властивостей **PropertyManager** параметр **Geometry Pattern** (Геометричний шаблон) не вибрано. Таким чином, якщо ви дзеркально відображаєте елемент, що пов'язаний з іншим об'єктом, те саме співвідношення буде застосовано до дзеркального елемента. Крім того, прапорець **Propagate visual properties** (Наслідувати візуальні властивості) у цій секції вибрано за замовчуванням. Як результат, усі візуальні властивості дзеркального елемента будуть такими ж, як у вихідного елемента або тіла.*

2. Клацніть по кнопці “+”, розташованій ліворуч у дереві побудови **FeatureManager Design Tree**; дерево розгорнеться та відобразить три площини за замовчуванням і список усіх елементів, створених у цій моделі.

3. Оберіть площину **Front Plane** (Площина спереду) у дереві побудови як площину дзеркала; її назва з'явиться в секції **Mirror Face/Plane** у менеджері властивостей. Одразу після вибору площини область **Features to Mirror** стане активною, і вам буде запропоновано вибрати елементи для дзеркального відображення.

4. Виберіть нещодавно створений виріз у дереві побудови як елемент для дзеркального відображення; попередній перегляд дзеркального елемента з'явиться у зоні креслення. Крім того, назва обраного елемента відобразиться в секції **Features to Mirror**.



5. Натисніть **OK** у менеджері властивостей **Mirror PropertyManager**; дзеркальна копія обраного елемента буде створена. Ізометричний вид моделі після створення дзеркального елемента показано на рисунку 5.10.

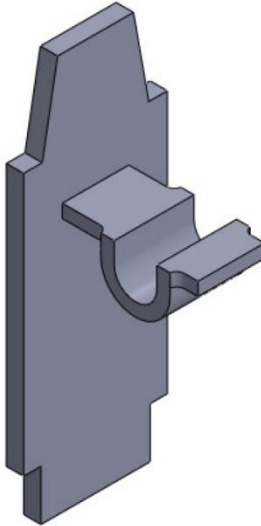


Рисунок 5.10 – Модель після створення дзеркального елемента

### Створення ребра

П'ятим елементом моделі є ребро. Ескіз цього ребра буде створено на площині **Front Plane** (Площина спереду).

1. Увійдіть до середовища ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для ескізу.

2. Встановіть нормальний вид до площини ескізу та нарисуйте ескіз для ребра за допомогою інструментів малювання, як показано на рисунку 5.11.

3. Оберіть інструмент **Rib** (Ребро) на панелі **Features CommandManager**; з'явиться вікно **Rib PropertyManager** (Менеджер властивостей ребра), як показано на рисунку 5.12. Також у зоні креслення відобразиться попередній перегляд ребра.

Інструмент **Rib** використовується для створення ребра. Ребра визначаються як тонкостінні структури, які підвищують міцність всієї конструкції компонента, щоб вона не вийшла з ладу під впливом підвищеного навантаження.

У SOLIDWORKS ребра створюються як з відкритого, так і з замкненого ескізу.

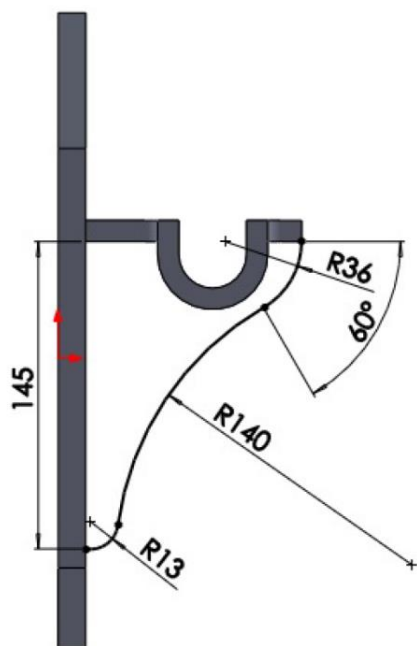


Рисунок 5.11 – Ескіз ребра

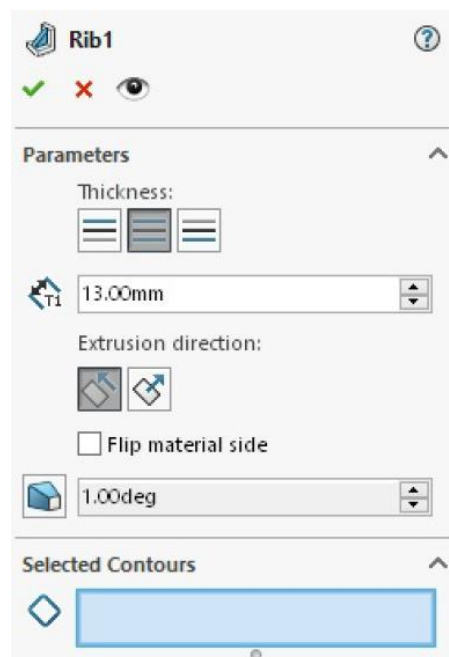


Рисунок 5.12 – Менеджер властивостей ребра

4. Переконайтеся, що в секції **Parameters** (Параметри) у розділі **Thickness** (Товщина) обрано параметр **Both Sides** (Обидві сторони).

### **Примітка**

За замовчуванням у секції **Thickness** обрано параметр **Both Sides**. Як результат, ребро буде створено з обох сторін ескізу. Також можна вибрати параметри **First Side** (Перша сторона) або **Second Side** (Друга сторона), щоб створити ребра лише з одного боку ескізу.

5. Встановіть значення товщини ребра (**Rib Thickness**) на 13 мм.

6. Переконайтеся, що в секції **Extrusion direction** (Напрямок видавлювання) обрано параметр **Parallel to Sketch** (Паралельно ескізу).

### **Примітка**

Секція **Extrusion direction** використовується для визначення методу видавлювання замкненого або відкритого ескізу. Опція **Parallel to Sketch**

використовується для видавлювання ескізу в напрямку, паралельному як ескізу, так і площині ескізу. Опція **Normal to Sketch** (Перпендикулярно до ескізу) використовується для видавлювання ескізу в напрямку, перпендикулярному до ескізу та площини ескізу.

7. Змініть орієнтацію перегляду на ізометричну.

8. Переконайтеся, що стрілка, яка відображається разом із попереднім переглядом ребра у зоні креслення, вказує на площину основи моделі.

### **Примітка**

Напрямок стрілки вказує на напрямок додавання матеріалу. Ви можете змінити напрямок додавання матеріалу за допомогою опції **Flip material side** (Змінити сторону матеріалу) у менеджері властивостей *PropertyManager*. Також можна клацнути лівою кнопкою миші на стрілці у попередньому перегляді, щоб змінити напрямок.

9. Натисніть **ОК** у вікні *PropertyManager*; ребро буде створено, як представлено на рисунку 5.13.

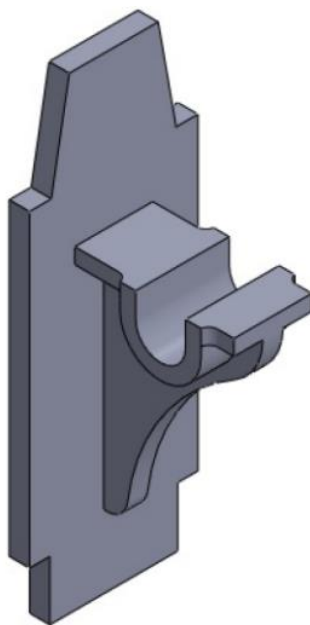


Рисунок 5.13 – Модель після створення ребра

## Створення отвору

Тепер необхідно створити отвори моделі. Можна створити отвір за допомогою інструменту **Hole Wizard** (Майстер отворів). Однак у цьому прикладі отвори будуть створені довільно на правій площині основи моделі за допомогою інструменту **Simple Hole** (Простий отвір), а їхнє розташування буде визначено пізніше.

### *Примітка*

*У SOLIDWORKS створювати отвори можна шляхом видавлювання кола за допомогою інструменту **Extruded Cut** (Виріз видавлюванням).*

*В даному випадку розглянемо як створювати отвори за допомогою інструменту **Simple Hole**. Якщо використовується цей інструмент, то не потрібно створювати ескіз отвору. Отвори, створені за допомогою цього інструменту, діють як розміщені елементи.*

1. Оберіть праву площину основи моделі як площину для розміщення отвору.

2. Оберіть команду **Insert > Features > Simple** (Вставка > Елементи > Простий) у меню SOLIDWORKS; відкриється вікно **Hole PropertyManager** (Менеджер властивостей отвору), як показано на рисунку 5.14. Також у зоні креслення з'явиться попередній перегляд отвору зі стандартними значеннями.

3. У випадаючому списку **End Condition** у секції **Direction 1** оберіть опцію **Through All**, щоб визначити спосіб завершення елемента. Ви також можете клацнути правою кнопкою миші у зоні креслення та вибрати **Through All** у контекстному меню.

4. Встановіть значення діаметра отвору (**Hole Diameter**) на 10 мм у секції **Direction 1** вікна PropertyManager. Потім натисніть **OK**; отвір із зазначеним діаметром буде створено довільно на правій площині основи моделі.

Оскільки отвір створено довільно на правій площині основи моделі, потрібно визначити його розташування.

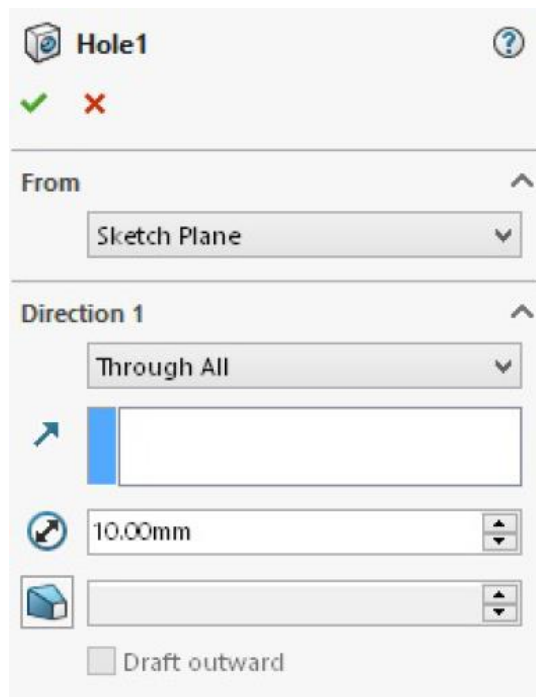


Рисунок 5.14 – Менеджер властивостей отвору

5. Оберіть **Hole1** у дереві побудови **FeatureManager Design Tree**; з'явиться спливаюча панель інструментів.

6. Оберіть кнопку **Edit Sketch** (Редагувати ескіз) на спливаючій панелі інструментів; відкриється середовище ескізу. Тепер задайте необхідні розміри, щоб визначити положення отвору, як показано на рисунку 5.15.

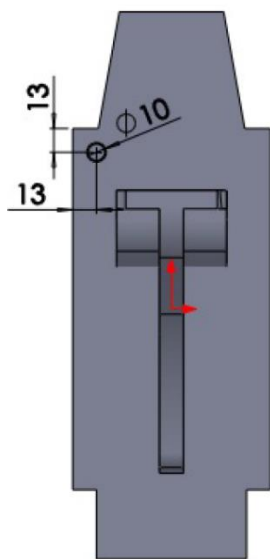


Рисунок 5.15 – Розташування отвору

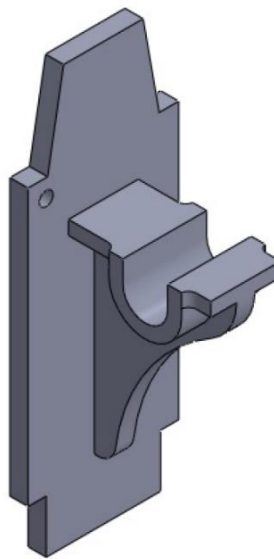


Рисунок 5.16 – Модель після створення першого отвору

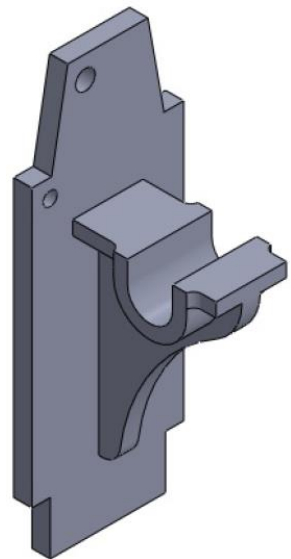


Рисунок 5.17 – Модель після створення другого отвору

7. Вийдіть із середовища ескізу. Потім натисніть комбінацію клавіш **CTRL + B** або кнопку **Rebuild** (Перебудувати) на панелі меню, щоб перебудувати модель.

Ізометричний вид моделі після створення отвору показано на рисунку 5.16.

8. Використовуйте ту саму процедуру, описану вище, для створення другого отвору діаметром 14 мм у верхньому лівому куті правої площини основи моделі. Розташування другого отвору показано на рисунку 5.1.

Ізометричний вид моделі після створення обох отворів приведено на рисунку 5.17.

### Створення шаблонів елементів

Після створення отворів необхідно створити шаблон (масив) для кожного з них, використовуючи інструмент **Linear Pattern** (Лінійний шаблон). Спочатку буде створено лінійний шаблон отвору діаметром 10 мм, а потім – лінійний шаблон отвору діаметром 14 мм.

1. Оберіть інструмент **Linear Pattern** (Лінійний шаблон) на панелі **Features CommandManager**; з'явиться вікно **Linear Pattern PropertyManager** (Менеджер властивостей лінійного шаблону). Також вам буде запропоновано вибрати кромку або вісь як посилання для напрямку.

Інструмент **Linear Pattern** використовується для створення лінійного шаблону (масиву) вибраних елементів у заданих напрямках. За допомогою цього інструменту можна створювати лінійні шаблони елементів, граней і тіл.

2. Виберіть вертикальний лінійну кромку основи моделі як перше посилання для напрямку створення лінійного шаблону отвору діаметром 10 мм; назва вибраної кромки з'явиться в секції **Pattern Direction** (Напрямок шаблону) у розділі **Direction 1** вікна **PropertyManager**. Також на вибраній кромці відобразиться виноска **Direction 1**, як показано на рисунку 5.18.

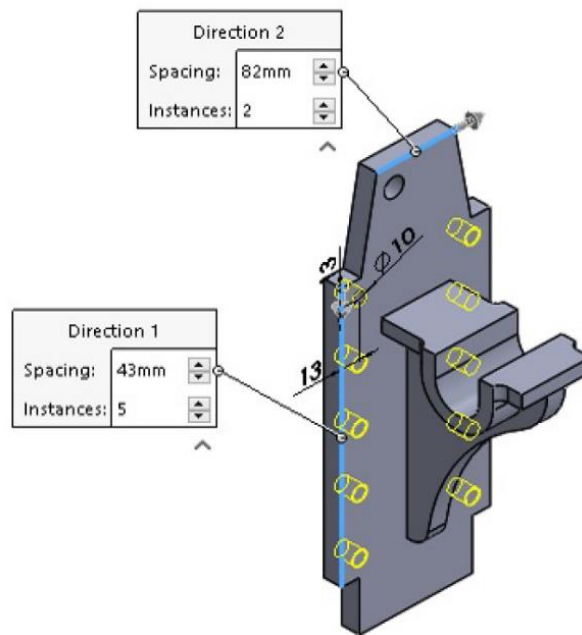


Рисунок 5.18 – Попередній перегляд лінійного шаблону

Ця виноска містить два поля для редагування: одне для визначення кількості екземплярів, інше – для відстані між ними.

Одразу після вибору першого напрямку шаблону секція **Pattern Direction** у розділі **Direction 2** стає активною, і пропонується вибрати кромку або вісь як посилення для другого напрямку.

3. Встановіть значення поля **Spacing** (Відстань) на 43 мм і поля **Number of Instances** (Кількість екземплярів) на 5 у розділі **Direction 1** вікна PropertyManager.

### ***Порада***

*Також можна задати відстань між двома екземплярами та кількість екземплярів в одному напрямку, використовуючи відповідні поля введення у спливаючому вікні, яке прив'язане до краю, вибраного для визначення лінійного напрямку.*

4. Виберіть горизонтальну лінійну кромку базової деталі як другу довідкову площину для створення лінійного масиву отвору діаметром 10 мм; назва вибраної кромки відобразиться в області вибору **Pattern Direction**

(Напрямок шаблону) розділу **Direction 2** у PropertyManager. Також спливаюче вікно **Direction 2** буде прив'язане до вибраної кромки (див. рис. 5.18).

5. Встановіть значення поля **Spacing** на 82 мм і поля **Number of Instances** на 2 у розділі **Direction 2**.

Після вибору другого напрямку шаблону, секція **Features to Pattern** (Елементи для створення шаблону) у вікні PropertyManager стане активною. Буде запропоновано вибрати елементи, які потрібно включити в шаблон.

6. Оберіть **Hole1** у дереві побудови **FeatureManager Design Tree**, який має діаметр 10 мм, як елемент для створення шаблону; назва вибраного елемента з'явиться в секції **Features to Pattern**. Також у зоні креслення відобразиться попередній перегляд лінійного шаблону, як показано на рисунку 5.18.

### **Примітка**

*За потреби можна змінити напрямок шаблону, натиснувши кнопку **Reverse Direction** (Змінити напрямок) ліворуч від випадаючого списку **End Condition** (Умова завершення) вікна PropertyManager. Крім того, ви можете клацнути лівою кнопкою миші на стрілці, напрямок якої потрібно змінити.*

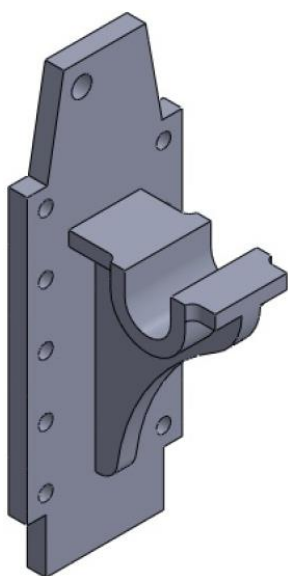


Рисунок 5.19 – Модель після створення шаблону отвору діаметром 10 мм

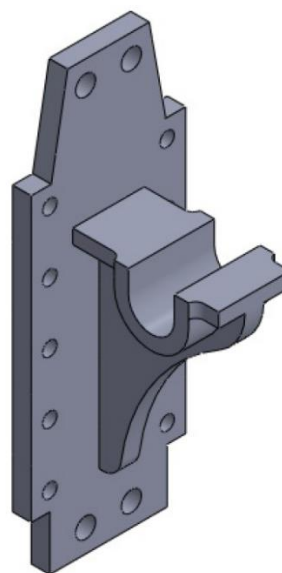


Рисунок 5.20 – Модель після створення шаблонів обох отворів



7. Натисніть **ОК** у вікні **PropertyManager**; лінійний шаблон вибраного отвору буде створено, як показано на рисунку 5.19.

8. Використовуйте ту саму процедуру, описану вище, для створення лінійного шаблону отвору діаметром 14 мм. Параметри для створення шаблону вказано на рисунку 5.1. Ізометричний вид моделі після створення обох шаблонів представлено на рисунку 5.20.

### **Створення отвору з циліндричною потайкою (циліндричне заглиблення під головку болта)**

Далі потрібно створити отвір із циліндричною потайкою. Спочатку створіть екземпляр отвору з потайкою за допомогою інструменту **Hole Wizard** (Майстер отворів), а потім застосуйте до нього шаблон, використовуючи інструмент **Linear Pattern**.

1. Оберіть інструмент **Hole Wizard** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Hole Specification PropertyManager** (Менеджер властивостей отвору).

Інструмент **Hole Wizard** використовується для створення стандартних отворів, таких як циліндрична потайка, конічна потайка, отвори для різьблення, просвердлені отвори, різьбові отвори для труб тощо. Також можна створити отвори користувацьких розмірів, наприклад, простий отвір, конічний отвір тощо, і контролювати всі параметри отворів, включаючи умови завершення. Після створення отвору його параметри також можна редагувати.

2. Виберіть кнопку **Counterbore** (Циліндрична потайка) у розділі **Hole Type** (Тип отвору) вікна **PropertyManager**.

Кнопки у розділі **Hole Type** використовуються для вибору типу стандартного отвору, який потрібно створити.

3. Виберіть параметр **ANSI Metric** у випадяючому списку **Standard** (Стандарт) у розділі **Hole Type**.

Випадаючий список **Standard** використовується для вибору стандартів розмірів і отворів у промисловості.

4. Виберіть параметр **Socket Button Head Cap Screw – ANSI B18.3.4M** у випадяючому списку **Type** у розділі **Hole Type**.

Випадаючий список **Type** використовується для визначення типу кріплення, яке буде вставлено в отвір.

### ***Примітка***

*Стандартні отвори, створені за допомогою інструменту **Hole Wizard**, залежать від типу та розміру кріплення, яке буде вставлено в отвір.*

5. Виберіть параметр **M8** у випадяючому списку **Size** (Розмір) у розділі **Hole Specifications** (Специфікації отвору) вікна PropertyManager.

Випадаючий список **Size** використовується для вибору розміру кріплення, яке буде вставлено в отвір.

6. Виберіть прапорець **Show custom size** (Показати користувацький розмір), щоб налаштувати розміри отвору, і введіть наступні параметри:

- **Through Hole Diameter** (Діаметр наскрізного отвору): 8,5 мм
- **Counterbore Diameter** (Діаметр циліндричної потайки): 14 мм
- **Counterbore Depth** (Глибина циліндричної потайки): 4,2 мм

Прапорець **Show custom size** дозволяє створювати отвори користувацьких розмірів.

7. Переконайтеся, що у випадяючому списку **End Condition** обрано параметр **Through All**.

Випадаючий список **End Condition** використовується для визначення способу завершення отвору.

Після того як будуть задані параметри отвору з потайкою, необхідно визначити його розташування.

8. Оберіть вкладку **Positions** (Позиції) у вікні **Hole Specification PropertyManager**; вам буде запропоновано вибрати грань, на якій потрібно розмістити отвір.

9. Оберіть верхню площину другого видавленого елемента як площину для розміщення отвору. Як тільки ви виберете площину розміщення, попередній перегляд отвору буде прикріплений до курсора, і вам буде запропоновано використати розміри або інструменти ескізу для визначення центра отвору.

10. Клацніть лівою кнопкою миші будь-де на верхній площині другого видавленого елемента, щоб визначити довільне місце для розташування отвору (рис. 5.21).

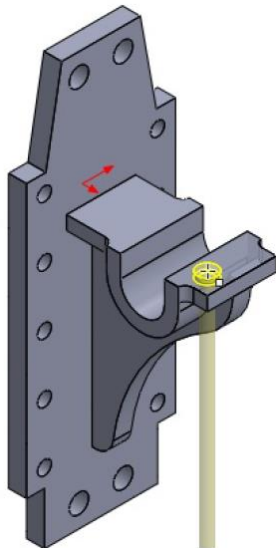


Рисунок 5.21 – Попередній перегляд отвору з циліндричною потайкою

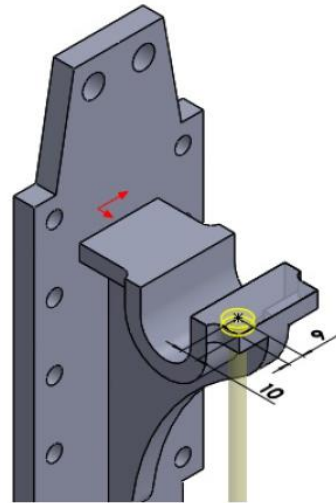


Рисунок 5.22 – Попередній перегляд отвору з циліндричною потайкою після визначення його розташування

11. Оберіть інструмент **Smart Dimension** (Швидкий розмір) на панелі **Sketch CommandManager** (Панель інструментів ескізу) та задайте розміри, як показано на рисунку 5.22. Потім вийдіть із інструмента **Smart Dimension**.

12. Натисніть **OK** у вікні **Hole Position PropertyManager** (Менеджер розташування отвору), щоб завершити створення елемента, і клацніть будь-де у зоні креслення.

Модель після створення отвору з потайкою показано на рисунку 5.23.

### Створення шаблону для отвору з циліндричною потайкою

Після створення першого екземпляра отвору з циліндричною потайкою необхідно створити шаблон, використовуючи інструмент **Linear Pattern**, щоб створити інші екземпляри отвору.

1. Викличте менеджер властивостей **Linear Pattern PropertyManager**, обравши інструмент **Linear Pattern** на панелі **Features CommandManager**, і створіть лінійний шаблон для отвору з потайкою, як представлено на рисунку 5.24. Параметри для створення шаблону вказано на рисунку 5.1.

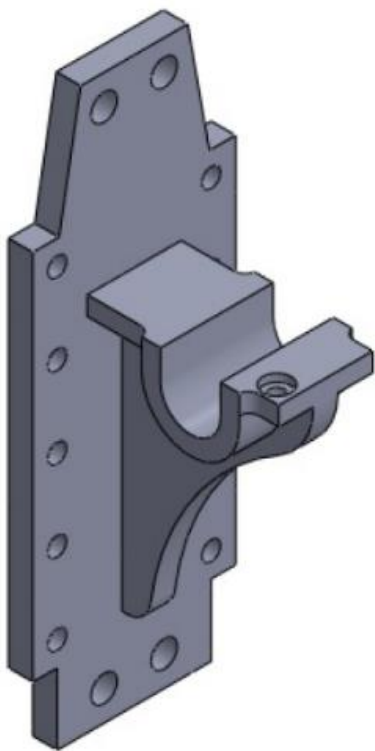


Рисунок 5.23 – Модель після створення першого екземпляра отвору з циліндричною потайкою

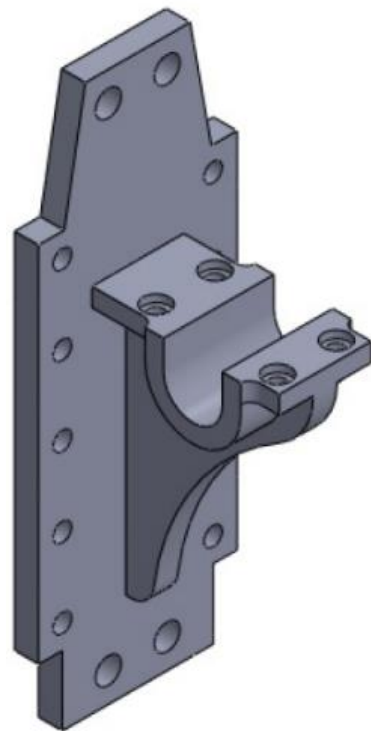


Рисунок 5.24 – Готова модель після створення всіх елементів

### Збереження моделі

Далі потрібно зберегти документ.

1. Оберіть кнопку **Save** (Зберегти) на панелі меню та збережіть документ.
2. Оберіть команду **File > Close** (Файл > Закрити) у меню **SOLIDWORKS**, щоб закрити файл.

## 5.2 Створення перерізів та декоративної різьби моделі

### Завдання 2

У цьому завданні розглядається створення моделі, показаної на рисунку 5.25. Розміри моделі вказано на тому ж рисунку. Крім того, буде створено переріз моделі за допомогою інструменту **Section View** (Переріз).

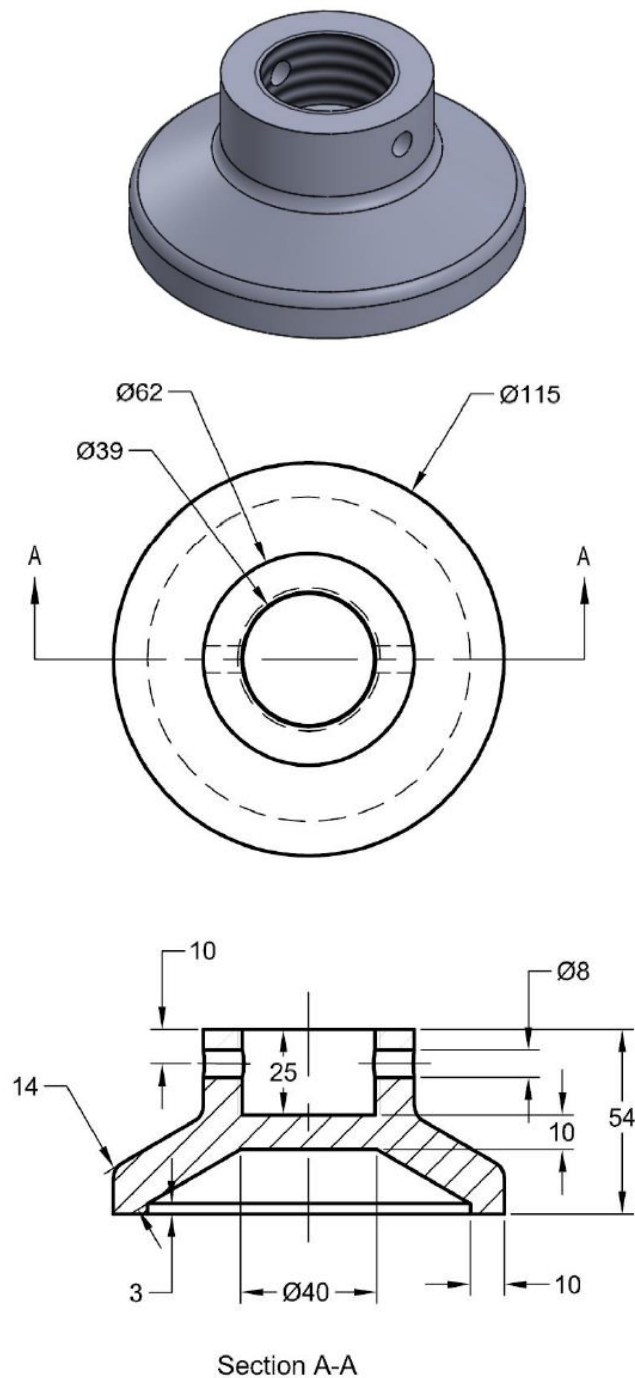


Рисунок 5.25 – Розміри та вигляди для Завдання 2

### Необхідні кроки для виконання цього завдання:

- а) Створіть базовий елемент моделі шляхом обертання ескізу (рис. 5.26 і 5.27).
- б) Створіть виріз (рис. 5.28).
- в) Додайте декоративну різьбу, як показано на рисунку 5.30, а потім змініть стиль її відображення на затінену різьбу (рис. 5.31).
- г) Додайте заокруглення до базового елемента (рис. 5.34).
- д) Відобразіть переріз моделі (рис. 5.35).
- е) Збережіть модель.

### Створення базового елемента

Базовим елементом цієї моделі є об'єм, створений обертанням.

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS, а потім увійдіть до середовища ескізу, обравши **Front Plane** (Площина спереду) як площину для ескізу.
2. Нарисуйте ескіз для обертового елемента, як показано на рисунку 5.26.
3. Викличте інструмент **Revolved Boss/Base** (Обертання тіла) і обертайте ескіз, обравши його вертикальну осеву лінію як вісь обертання. Ізометричний вид моделі після створення обертового елемента показано на рисунку 5.27.

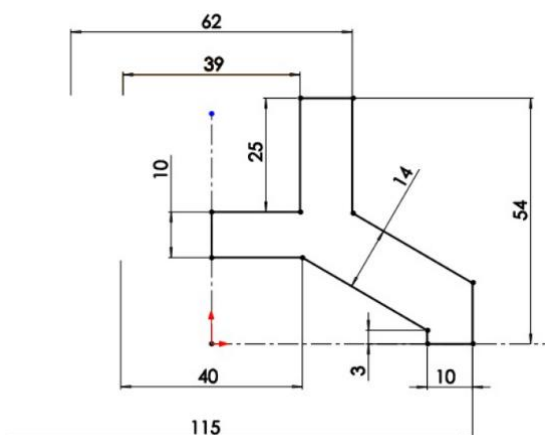


Рисунок 5.26 – Ескіз базового елемента

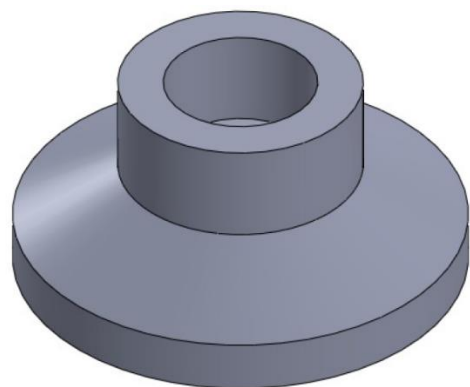


Рисунок 5.27 – Модель після створення базового елемента

## Створення вирізу

Другим елементом моделі є виріз. Ескіз вирізу буде намальовано на **Right Plane** (Площина справа), а потім його буде видавлено в обидві сторони від площини ескізу за допомогою параметра **Through All**.

1. Викличте інструмент **Extruded Cut** (Виріз видавлюванням) і оберіть **Right Plane** (Площина справа) як площину для ескізу.

2. Встановіть нормальний вид до площини ескізу та нарисуйте коло діаметром 8 мм за допомогою інструмента **Circle** (Коло). Розміщення кола показано на рисунку 5.25.

3. Вийдіть із середовища ескізу; відкриється вікно **Cut-Extrude PropertyManager** (Менеджер властивостей витягнутого вирізу). Попередній перегляд вирізу з'явиться у зоні креслення зі стандартними значеннями параметра **Blind** (На задану відстань).

4. Змініть орієнтацію перегляду на ізометричну. Далі оберіть параметр **Through All** у випадających списках **End Condition** для обох напрямків **Direction 1** і **Direction 2**.

5. Натисніть **OK** у вікні **PropertyManager**; виріз буде створено, як представлено на рисунку 5.28.

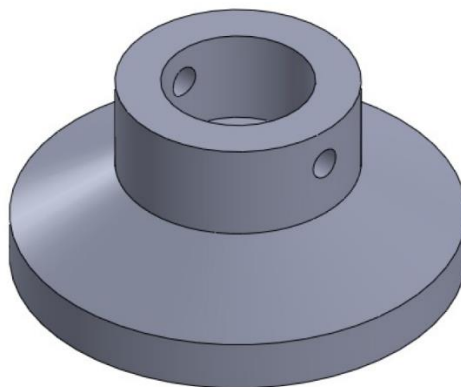


Рисунок 5.28 – Модель після створення вирізу

## Нанесення декоративної різьби

Як показано на рисунку 5.25, декоративна різьба потрібна на верхньому внутрішньому круговому ребрі моделі. Декоративна різьба наноситься за

допомогою інструмента **Cosmetic Thread** (Декоративна різьба). Ця різьба використовується для схематичного зображення різьби.

1. Оберіть команду **Insert > Annotations > Cosmetic Thread** (Вставка > Анотації > Декоративна різьба) у меню SOLIDWORKS; відкриється вікно **Cosmetic Thread PropertyManager** (Менеджер властивостей декоративної різьби). Також буде запропоновано вибрати ребра та встановити параметри для нанесення декоративної різьби.

Інструмент **Cosmetic Thread** використовується для схематичного відображення різьби на круговій грані моделі.

### ***Примітка***

*Як правило, створення різьби в моделі уникають, оскільки це ускладнює геометрію. Вигляди, згенеровані з моделей зі складною геометрією, важко розуміти. Тому краще уникати створення різьби в моделі, а натомість додавати декоративну різьбу. Це також дозволяє дотримуватися стандартів зображення різьби у кресленнях.*

2. Оберіть верхню внутрішню кругову кромку моделі, як показано на рисунку 5.29; назва вибраної кромки з'явиться в секції **Circular Edges** (Кругові кромки) вікна PropertyManager.

3. У випадаючому списку **Standard** вікна PropertyManager виберіть параметр **ANSI Metric**.

4. У випадаючому списку **Type** вікна PropertyManager виберіть параметр **Machine Threads** (Машинна різьба).

5. Переконайтеся, що у списку **Size** (Розмір) обрано параметр **M42x3.0**, а у списку **End Condition** – **Up to Next** (До наступного).

6. Після задання всіх параметрів для декоративної різьби у вікні **Cosmetic Thread PropertyManager** натисніть **OK**. Декоративна різьба буде додана до моделі та відображена у вигляді кола, як показано на рисунку 5.30.



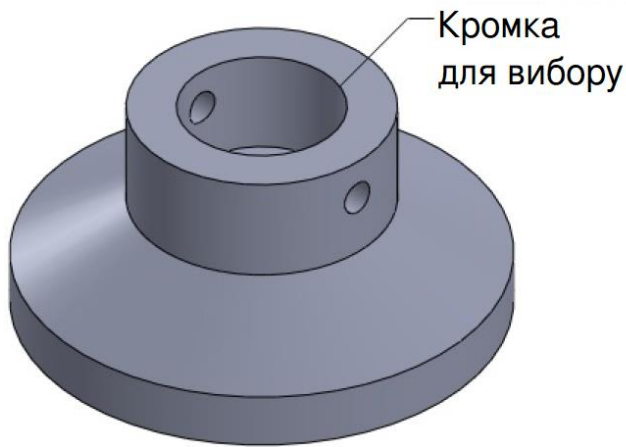


Рисунок 5.29 – Кромка для вибору

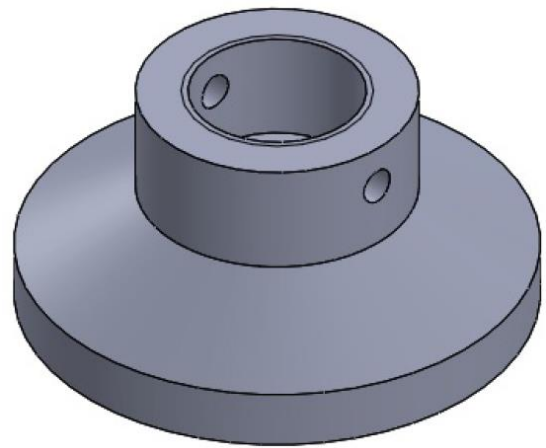


Рисунок 5.30 – Модель після нанесення декоративної різьби

Як показано на рисунку 5.25, декоративна різьба повинна відображатися у затіненому режимі. Тому необхідно змінити стиль відображення декоративної різьби.

7. Викличте діалогове вікно **System Options - General** (Системні параметри - Загальні), обравши кнопку **Options** (Параметри) на панелі меню.

8. У цьому діалоговому вікні оберіть вкладку **Document Properties** (Властивості документа); вікно зміниться на **Document Properties - Drafting Standard** (Властивості документа - Стандарти креслення).

9. У лівій частині діалогового вікна виберіть параметр **Detailing** (Деталізація); параметри, пов'язані з деталізацією, будуть відображені у правій частині.

10. У секції **Display filter** (Фільтр відображення) виберіть прапорець **Shaded cosmetic threads** (Затінена декоративна різьба).

11. Натисніть **OK** у діалоговому вікні; декоративна різьба, нанесена на модель, буде відображатися у затіненому режимі (див. рис. 5.31).

### ***Порада***

*Також можна редагувати декоративну різьбу після її нанесення на кругову грань моделі. Щоб відредагувати декоративну різьбу, нанесену на*

елемент, розгорніть вузол, що відповідає цьому елементу, у дереві побудови **FeatureManager Design Tree**, а потім виберіть **Cosmetic Thread**; з'явиться спливаюча панель інструментів. Оберіть опцію **Edit Feature** (Редагувати елемент) на спливаючій панелі інструментів, щоб відкрити менеджер властивостей **Cosmetic Thread PropertyManager** для редагування параметрів вибраної декоративної різьби.

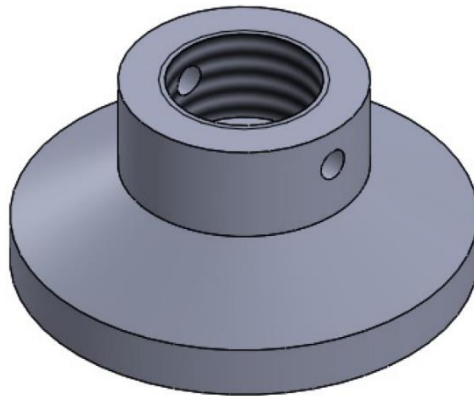


Рисунок 5.31 – Відображення декоративної різьби у затіненому режимі

### Додавання заокруглень

Після створення всіх елементів потрібно додати заокруглення до моделі за допомогою інструменту **Fillet** (Заокруглення).

1. Оберіть інструмент **Fillet** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Fillet PropertyManager** (Менеджер властивостей заокруглень), як показано на рисунку 5.32. Вам буде запропоновано вибрати ребра, грані, елементи або контури для створення заокруглень.

### Примітка

Якщо після вибору інструмента **Fillet** у панелі інструментів відкривається вікно **FilletXpert PropertyManager**, натисніть кнопку **Manual** (Ручний режим), щоб перейти до **Fillet PropertyManager**.

Інструмент **Fillet** використовується для усунення гострих кутів шляхом додавання або видалення матеріалу залежно від вибраного ребра. У

SOLIDWORKS можна створювати різні типи заокруглень, такі як заокруглення з постійним радіусом, заокруглення зі змінним радіусом, заокруглення за гранню або заокруглення по всій поверхні, обравши відповідний перемикач в секції **Fillet Type** (Тип заокруглення).

2. Переконайтеся, що у секції **Fillet Type** обрано перемикач **Constant Size** (Постійний розмір), як показано на рисунку 5.32.

3. Виберіть кромки моделі у зоні креслення, як показано на рисунку 5.33. Ви можете вибрати кілька кромок для створення набору заокруглень одного розміру. Після вибору кромок з'явиться попередній перегляд заокруглення зі стандартними значеннями та виклик радіуса у зоні креслення.

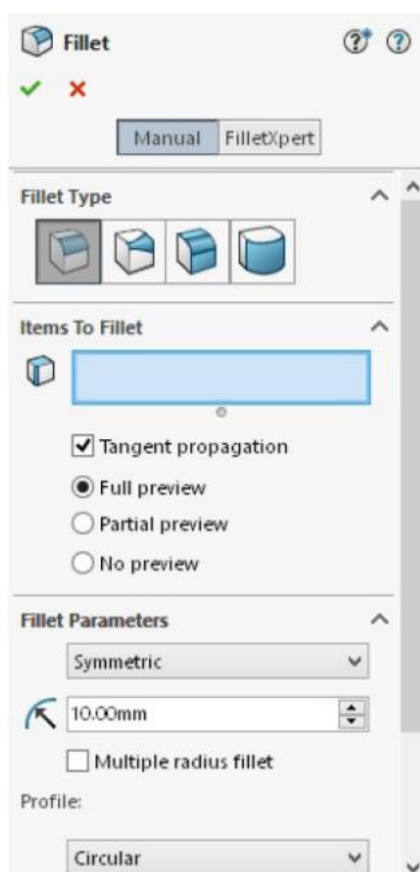


Рисунок 5.32 – Частковий вигляд менеджера властивостей заокруглення

### **Примітка**

Також можна задати різні радіуси заокруглень для кромок, обравши прапорець **Multiple radius** (Різні радіуси) у вікні **Fillet PropertyManager** і вказавши відповідний радіус.

4. Встановіть значення радіуса **Radius** на 5 мм і натисніть **OK** у вікні **Fillet PropertyManager**.

Модель після додавання заокруглень показано на рисунку 5.34.

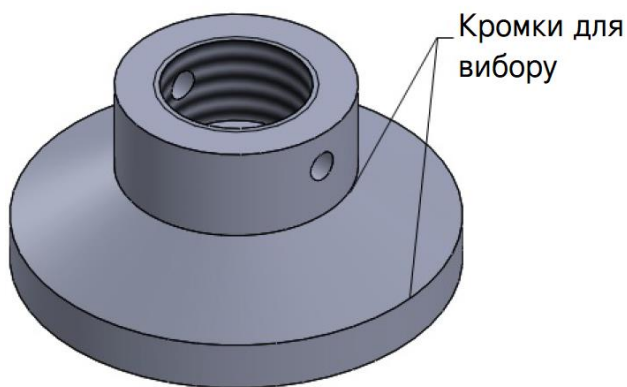


Рисунок 5.33 – Кромки для вибору

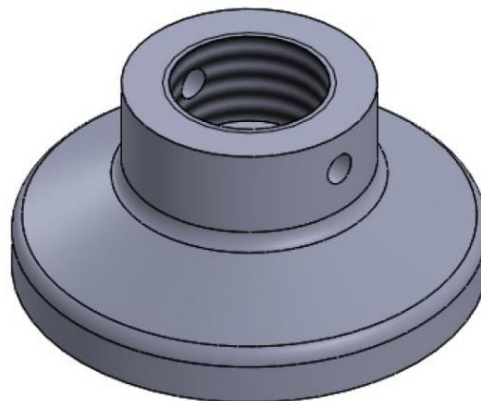


Рисунок 5.34 – Модель після додавання заокруглень

### Відображення перерізу моделі

Далі потрібно відобразити переріз моделі. Переріз моделі буде створено за допомогою менеджера властивостей **Section View PropertyManager** (Менеджер властивостей перерізу).

1. Встановіть ізометричний вигляд моделі.
2. Оберіть інструмент **Section View** (Переріз) на панелі **View (Heads-Up)**; відкриється менеджер властивостей **Section View PropertyManager** із заздалегідь вибраною площиною **Front Plane** (Площина спереду) як площиною перерізу. Як результат, у зоні креслення з'явиться попередній перегляд перерізу з використанням площини **Front Plane**, а в центрі площини буде відображено маркер ручки.

Секція **Section 1** (Переріз 1) вікна **Section View PropertyManager** дозволяє змінювати положення площини перерізу за допомогою параметрів або шляхом перетягування маркера ручки для динамічного налаштування відстані зсуву площини перерізу.

### **Порада**

Якщо потрібно вибрати площину **Right Plane** або **Top Plane** як площину перерізу, оберіть відповідні кнопки у секції **Section 1** вікна **Section View PropertyManager**.

Інструмент **Section View** використовується для відображення перерізу моделі шляхом розрізання її площиною або гранню. Також можна зберегти переріз під певною назвою для автоматичного створення цього перерізу на кресленні у середовищі креслення.

3. Натисніть **OK** у вікні **Section View PropertyManager**, щоб відобразити переріз моделі. Переріз моделі показано на рисунку 5.35.

4. Знову оберіть інструмент **Section View** на панелі **View (Heads-Up)**, щоб повернутися до повного режиму перегляду.

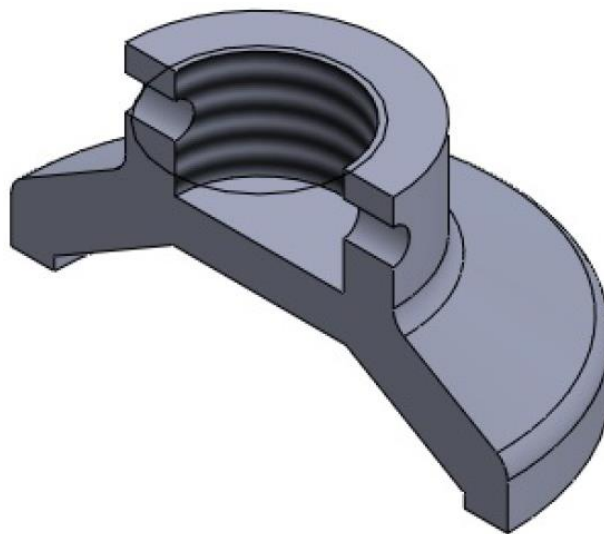


Рисунок 5.35 – Переріз моделі

### **Збереження моделі**

1. Збережіть документ деталі.
2. Оберіть команду **File > Close** (Файл > Закрити) у меню **SOLIDWORKS**, щоб закрити документ.

### 5.3 Створення геометрії шляхом видавлювання вибраних контурів

#### Завдання 3

У цьому завданні буде розглянуто створення моделі, показаної на рисунку 5.36. Вигляди та розміри моделі наведено на рисунку 5.37. Спочатку буде створено ескіз вигляду зверху моделі, а потім його видавлювання, вибираючи різні контури.

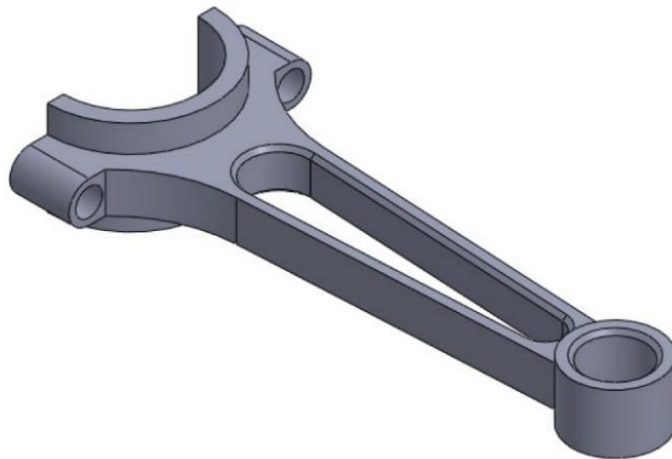


Рисунок 5.36 – Модель для Завдання 3

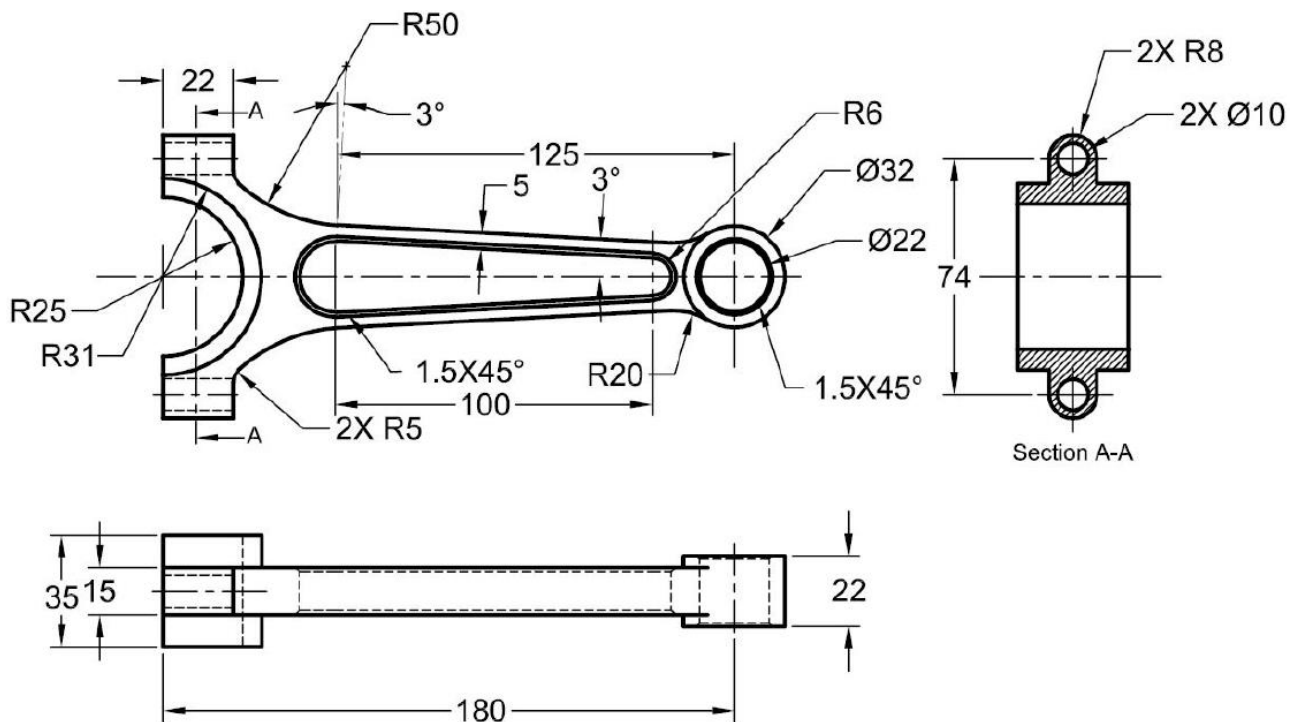


Рисунок 5.37 – Розміри та вигляди для Завдання 3

### Необхідні кроки для виконання цього завдання:

- а) Нарисуйте ескіз вигляду зверху моделі (див. рис. 5.38).
- б) Викличте інструмент **Extrude Boss/Base** (Видавлювання тіла) та видавіть вибраний контур (див. рис. 5.39 і 5.40).
- в) Виберіть інші контури та видавіть їх на необхідну відстань (див. рис. 5.41 і 5.42).
- г) Виберіть наступні контури та видавіть їх на необхідну відстань (рис. 5.43).
- д) Створіть заокруглення (див. рис. 5.45 – 5.47).
- е) Створіть отвір користувальницького розміру за допомогою інструмента **Hole Wizard** (рис. 5.49).
- ж) Створіть дзеркальну копію щойно створеного отвору (рис. 5.50).
- з) Додайте фаски (див. рис. 5.54).
- и) Збережіть модель.

### Створення ескізу моделі

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS, використовуючи діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document**.

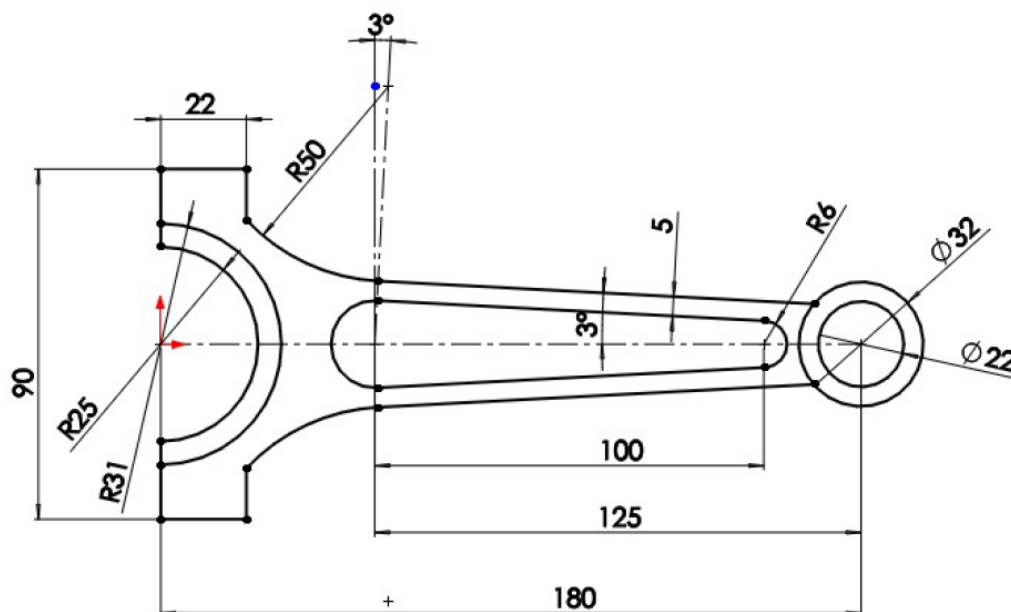


Рисунок 5.38 – Ескіз вигляду зверху моделі

Як зазначено в описі завдання, необхідно створити ескіз вигляду зверху моделі та видавити його, вибравши різні контури. Також можна створити цю модель, створюючи окремий ескіз для кожного елемента, а потім перетворюючи їх в елементи.

2. Викличте середовище ескізу, обравши **Top Plane** (Площина зверху) як площину для ескізу, і нарисуйте ескіз базового елемента, як показано на рисунку 5.38. Вийдіть із середовища ескізу.

### **Вибір і видавлювання контурів ескізу**

Для створення моделі потрібно скористатися методом вибору контурів. Спочатку необхідно вибрати один із контурів у створеному ескізі, а потім видавити його. Для кращого перегляду можна змінити орієнтацію ескізу на ізометричну.

1. Оберіть кнопку **Isometric** (Ізометричний) у меню **View Orientation** (Орієнтація виду), доступному через панель **View (Heads-Up)**; ескіз буде відображено в ізометричному вигляді.

2. Клацніть правою кнопкою миші в зоні креслення, щоб викликати контекстне меню. За потреби розгорніть його. Потім оберіть опцію **Contour Select Tool** (Інструмент вибору контурів) у меню; курсор зміниться на курсор вибору контурів, і в зоні креслення з'явиться куток підтвердження вибору.

3. Виберіть ескіз, а потім виберіть замкнений контур, як показано на рисунку 5.39.

### **Примітка**

*Як видно з рисунку 5.39, вісь симетрії поділяє контури ескізу. Щоб вибрати замкнені контури ескізу, можливо, знадобиться натискати клавішу CTRL.*

4. Викличте інструмент **Extruded Boss/Base** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Boss-Extrude PropertyManager**, і в зоні креслення з'явиться попередній перегляд базового елемента.



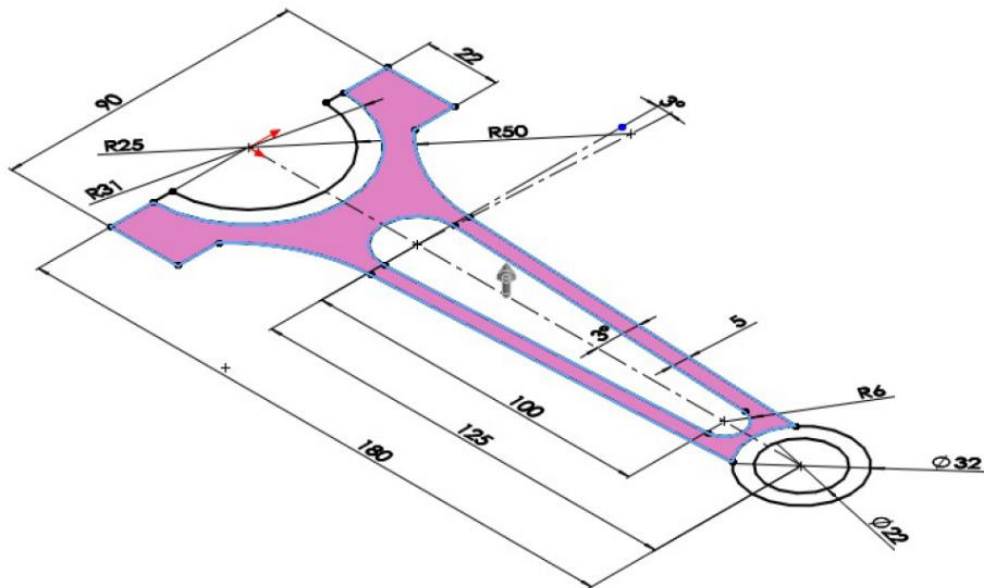


Рисунок 5.39 – Замкнений контур, вибраний для видавлювання

Назва вибраного контуру відобразиться у полі **Selected Contours** (Вибрані контури) вікна PropertyManager.

5. Клацніть правою кнопкою миші в зоні креслення, щоб викликати контекстне меню. Потім оберіть параметр **Mid Plane** (Середня площина) у меню.

6. Встановіть значення глибини (**Depth**) на 15 мм, а потім натисніть **OK**; вибраний контур буде видавлено, як показано на рисунку 5.40.

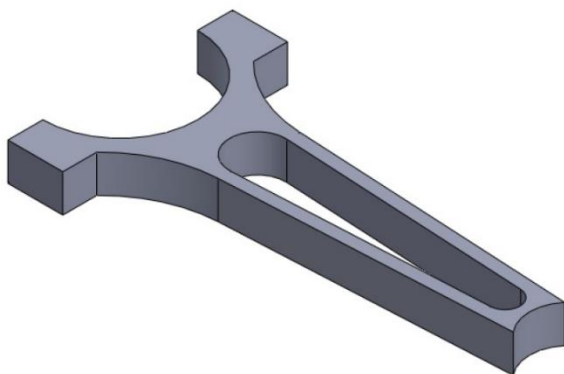


Рисунок 5.40 – Модель після видавлювання контуру

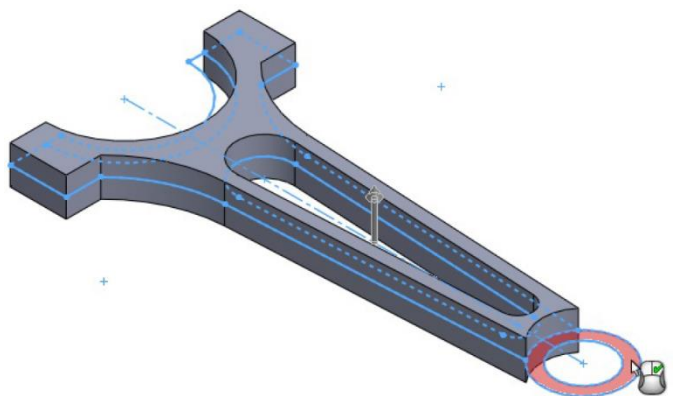


Рисунок 5.41 – Контур, вибраний для видавлювання

7. Виберіть ескіз у дереві побудови **FeatureManager Design Tree** і клацніть правою кнопкою миші в зоні креслення, щоб викликати контекстне меню. Потім знову оберіть опцію **Contour Select Tool** (Інструмент вибору контурів).

8. Виберіть інший замкнений контур ескізу, як показано на рисунку 5.41. Викличте інструмент **Extruded Boss/Base** і видавіть контур на глибину 22 мм, використовуючи параметр **Mid Plane**, як продемонстровано на рисунку 5.42.

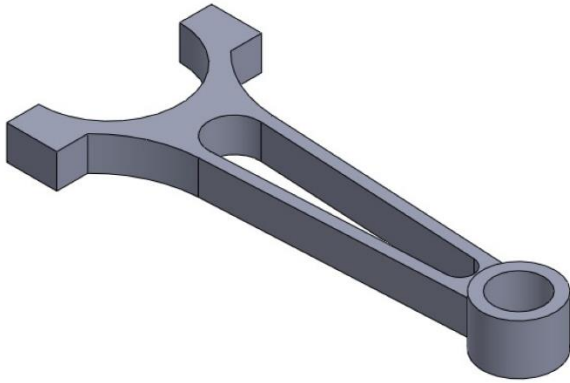


Рисунок 5.42 – Модель після видавлювання контурів ескізу

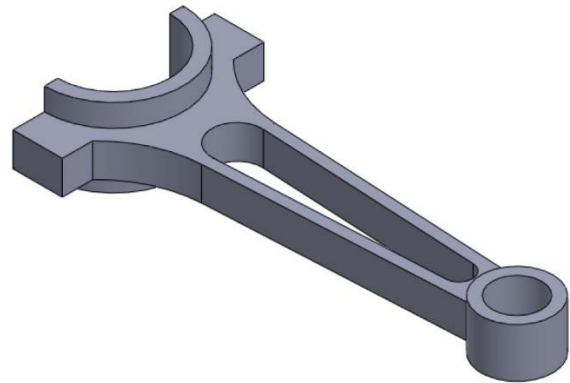


Рисунок 5.43 – Модель після видавлювання всіх контурів ескізу

9. Аналогічно, видавіть інші контури ескізу. Модель після видавлювання всіх контурів ескізу показано на рисунку 5.43.

### Створення заокруглень

Після створення видавлених елементів потрібно додати заокруглення до моделі.

1. Оберіть інструмент **Fillet** (Заокруглення) на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Fillet PropertyManager** (Менеджер властивостей заокруглень).

2. У секції **Fillet Type** (Тип заокруглення) оберіть перемикач **Full round fillet** (Повне заокруглення); у секції **Items to Fillet** (Об'єкти для створення заокруглення) відобразяться області вибору **Face Set 1**, **Center Face Set**, і **Face Set 2**. Зверніть увагу, що поле вибору **Face Set 1** активовано за замовчуванням.

3. Виберіть грань як **Face Set 1**, як показано на рисунку 5.44.

4. Натисніть на область вибору **Center Face Set**, щоб активувати її. Потім виберіть бічну грань моделі як **Center Face Set**, як показано на рисунку 5.44.

5. Активуйте поле вибору **Face Set 2** і виберіть грань як **Face Set 2**, як продемонстровано на рисунку 5.44. Попередній перегляд повного заокруглення на вибраних наборах граней відобразиться у зоні креслення (рис. 5.45).

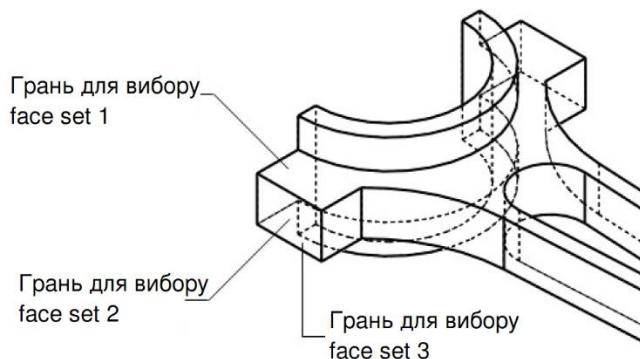


Рисунок 5.44 – Грані для вибору

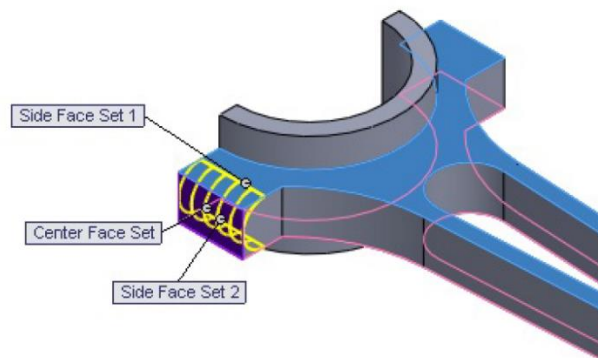


Рисунок 5.45 – Попередній перегляд повного заокруглення

### **Примітка**

На рисунку 5.44 режим відображення моделі змінено на **Hidden Lines Visible** (Видимі приховані лінії) за допомогою кнопки **Hidden Lines Visible** у меню **Display Style** панелі **View (Heads-Up)**.

6. Натисніть **OK** у вікні **PropertyManager**; повне заокруглення буде створено, як приведено на рисунку 5.46.

7. Аналогічно створіть повні заокруглення на іншому боці моделі, як представлено на рисунку 5.47.

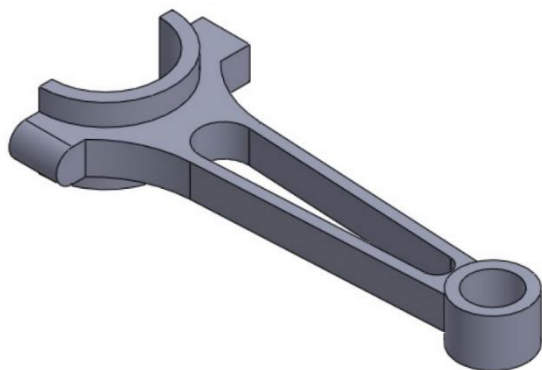


Рисунок 5.46 – Модель після створення повного заокруглення з одного боку

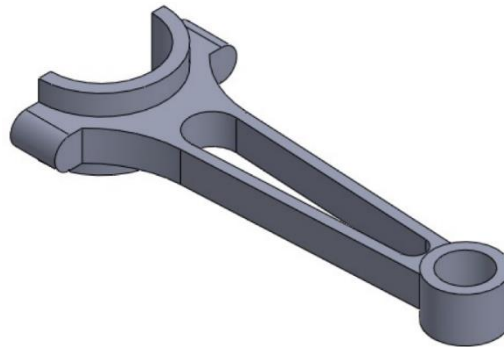


Рисунок 5.47 – Модель після створення повного заокруглення з іншого боку

## Створення отвору користувальницького розміру за допомогою інструмента **Hole Wizard**

Далі потрібно створити отвір користувальницького розміру за допомогою інструмента **Hole Wizard** (Майстер отворів). Спочатку отвір буде створено з одного боку моделі, а потім його буде дзеркально відображено на інший бік за допомогою інструмента **Mirror**.

1. Оберіть інструмент **Hole Wizard** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Hole Specification PropertyManager** (Менеджер властивостей отвору).

Інструмент **Hole Wizard** використовується для створення стандартних отворів, таких як циліндрична потайка, конічна потайка, просвердлений, різьбовий і трубний різьбовий отвори. Також можна створювати отвори користувальницького розміру, наприклад прості отвори, прості просвердлені отвори, отвори з циліндричною потайкою, конічні отвори тощо. Цей інструмент дозволяє контролювати всі параметри отвору, включаючи умови завершення. Є можливість змінити параметри отвору після його створення.

2. У секції **Hole Type** вікна **PropertyManager** оберіть кнопку **Legacy Hole** (Отвір користувальницького розміру).

3. Переконайтеся, що у випадаючому списку **Type** обрано параметр **Simple** (Простий).

4. У полі **Diameter** у секції **Section Dimensions** (Розміри секції) введіть значення 10 мм.

5. У випадаючому списку **End Condition** оберіть параметр **Through All**.

Після задання параметрів отвору потрібно визначити його розташування.

6. Оберіть вкладку **Positions** у вікні **Hole Specification PropertyManager**; програма запропонує вибрати грань, на якій потрібно розмістити отвір.

7. Виберіть площину моделі, як показано на рисунку 5.48. Одразу після вибору площини попередній перегляд отвору буде прикріплений до курсора, а програма запропонує використати розміри або інструменти ескізу для визначення центра отвору.

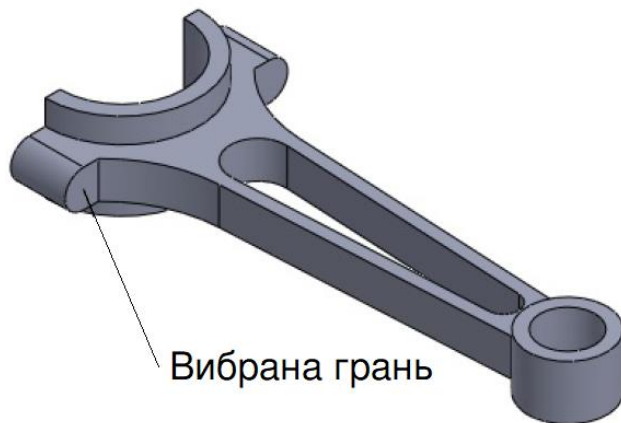


Рисунок 5.48 – Вибрана грань для створення отвору

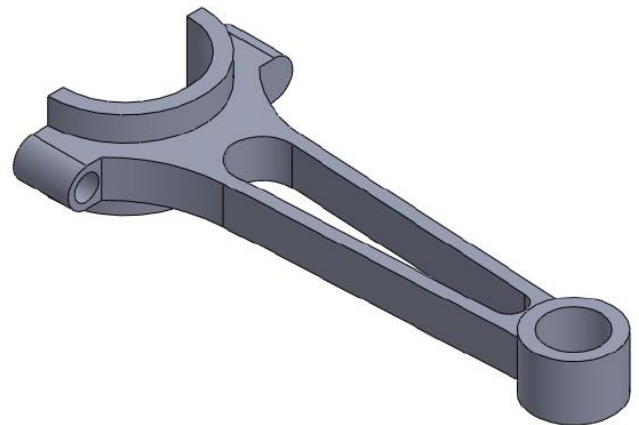


Рисунок 5.49 – Модель після створення отвору

8. Клацніть лівою кнопкою миші на площині, коли курсор прив'язується до центральної точки напівкруглої грані елемента, і відобразиться відношення **Coincident** (Співпадіння).

### ***Примітка***

*Якщо курсор не прив'язується до центральної точки напівкруглої грані, перемістіть курсор у напрямку до цієї грані, щоб підсвітити її центральну точку. Коли центральна точка буде підсвічена, клацніть на ній.*

9. Натисніть **ОК** у вікні **Hole Position PropertyManager**, щоб завершити створення отвору. Потім клацніть будь-де у зоні креслення. Модель після створення отвору показано на рисунку 5.49.

### **Створення дзеркальної копії отвору**

Далі потрібно створити дзеркальну копію щойно створеного отвору за допомогою інструмента **Mirror**.

1. Оберіть інструмент **Mirror** на панелі **Features CommandManager**; зліва у зоні креслення відкриється вікно **Mirror PropertyManager** (Менеджер властивостей дзеркального відображення). Програма запропонує вибрати площину або плоску грань, відносно якої потрібно створити дзеркальне відображення елементів.

2. Виберіть площину **Front Plane** у дереві побудови **FeatureManager Design Tree** як площину для дзеркального відображення. Потім виберіть створений раніше отвір як елемент для відображення; у зоні креслення відобразиться попередній перегляд дзеркального елемента.

3. Натисніть **OK** у вікні **PropertyManager**; дзеркальна копія отвору буде створена, як показано на рисунку 5.50.

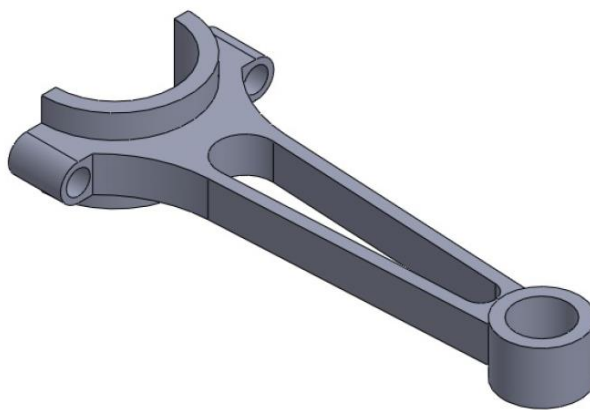


Рисунок 5.50 – Модель після створення дзеркальної копії отвору

### Створення фасок

Наступна функція, яку потрібно додати до цієї моделі, – це функція фаски.

1. Виберіть інструмент **Chamfer** (Фаска) із панелі **Fillet flyout** (Панель заокруглень) у **Features CommandManager** (рис. 5.51); відкриється **Chamfer PropertyManager** (Менеджер властивостей фаски) (рис 5.52).

Створення фасок – це процес, під час якого гострі краї моделі скошуються для зменшення концентрації напружень. Цей процес також усуває небажані гострі краї та кути моделі.

2. Виберіть перемикач **Angle distance** (Кутова відстань) у розділі **Chamfer Parameters** (Параметри фаски) у **PropertyManager**.

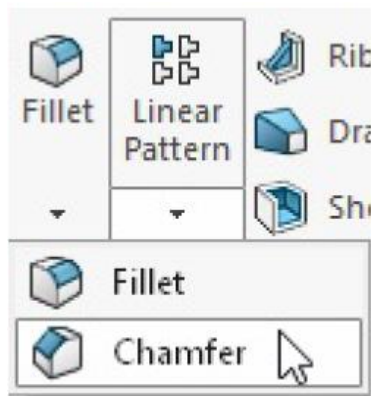


Рисунок 5.51 – Панель Fillet flyout

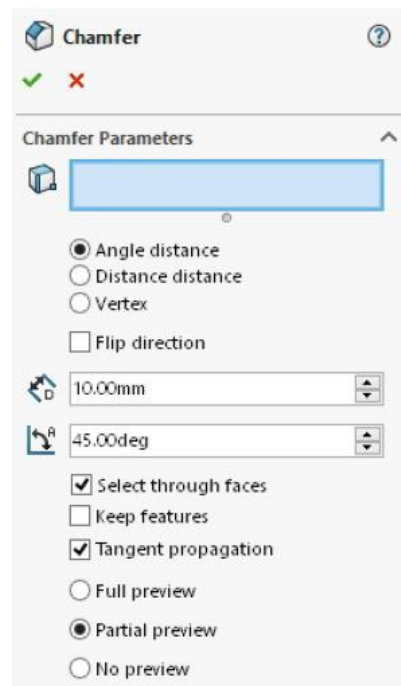


Рисунок 5.52 – Менеджер властивостей Chamfer

За замовчуванням перемикач **Angle distance** вибраний. Тому після вибору ребра для фаскування у графічній області з'являться вказівки для введення значень відстані та кута. Задайте значення відстані та кута у відповідних полях **Distance** (Відстань) та **Angle** (Кут) у PropertyManager, або введіть значення безпосередньо у вказівках у графічній області. Прапорець **Flip direction** (Змінити напрямок) у **Chamfer PropertyManager** використовується для визначення напрямку вимірювання відстані. Також можна змінити напрямок, натиснувши на стрілку у графічній області.

3. Установіть значення для поля **Distance** на 1.5, а для поля **Angle** – на 45 у PropertyManager.

4. Переконайтеся, що прапорець **Tangent propagation** (Продовження по дотичній) вибраний у PropertyManager.

5. Прапорець **Tangent propagation** вибраний за замовчуванням. Таким чином, ребра, дотичні до вибраного ребра, вибираються автоматично.



6. Виберіть ребра моделі одне за одним для застосування фаски, як показано на рисунку 5.53; у графічній області відобразиться попередній вигляд елементів фаски.

7. Натисніть кнопку **ОК** у PropertyManager. Ізометричний вигляд фінальної моделі після створення елементів фаски продемонстровано на рисунку 5.54.

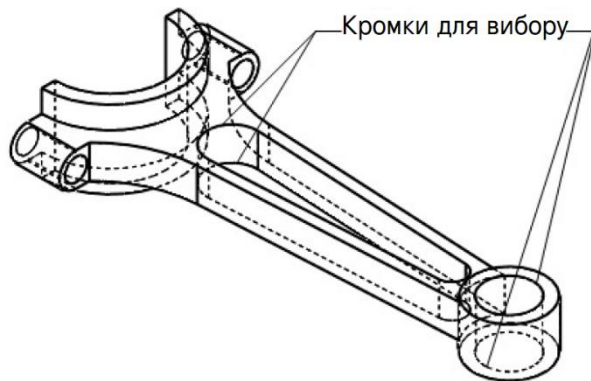


Рисунок 5.53 – Кромки для вибору

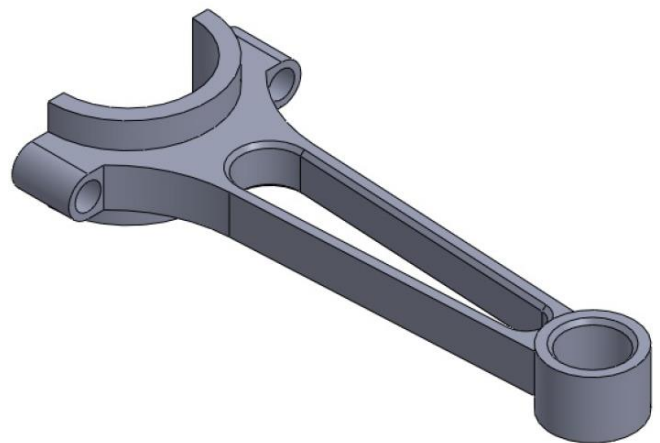


Рисунок 5.54 – Фінальна модель для  
Завдання 3

### Питання для самоконтролю

1. Що таке Hole Wizard, і для чого його використовують у SolidWorks?
2. Що таке дзеркальне відображення та які параметри задаються у Mirror PropertyManager?
3. Для чого використовується інструмент Rib (Ребро), і як визначається його товщина?
4. Як налаштувати параметри Linear Pattern для створення масиву отворів?
5. Як створити повне заокруглення за допомогою Fillet?
6. Які кроки потрібно виконати для створення фаски за допомогою Chamfer та як налаштувати її параметри?
7. Як використовується інструмент Section View для створення перерізу моделі?



8. Як функція Shell допомагає створювати тонкостінні деталі, які параметри для цього налаштовуються?

9. Що таке Offset Entities, як цей інструмент допомагає в ескізуванні?

10. Як інструмент Project Curve використовується для проектування кривих на складні поверхні?

### Практичне завдання 1

Створіть модель, зображену на рисунку 5.55. Види та розміри моделі наведені на рисунку 5.56.

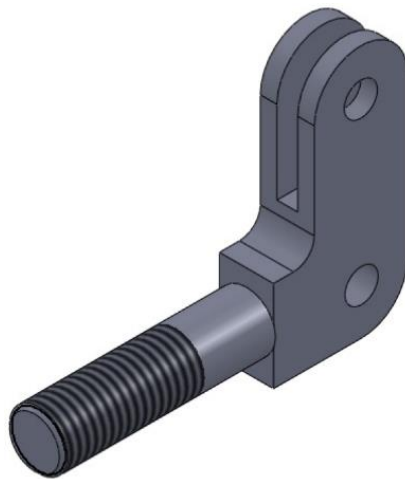


Рисунок 5.55 – Твердотільна модель для Практичного завдання 1

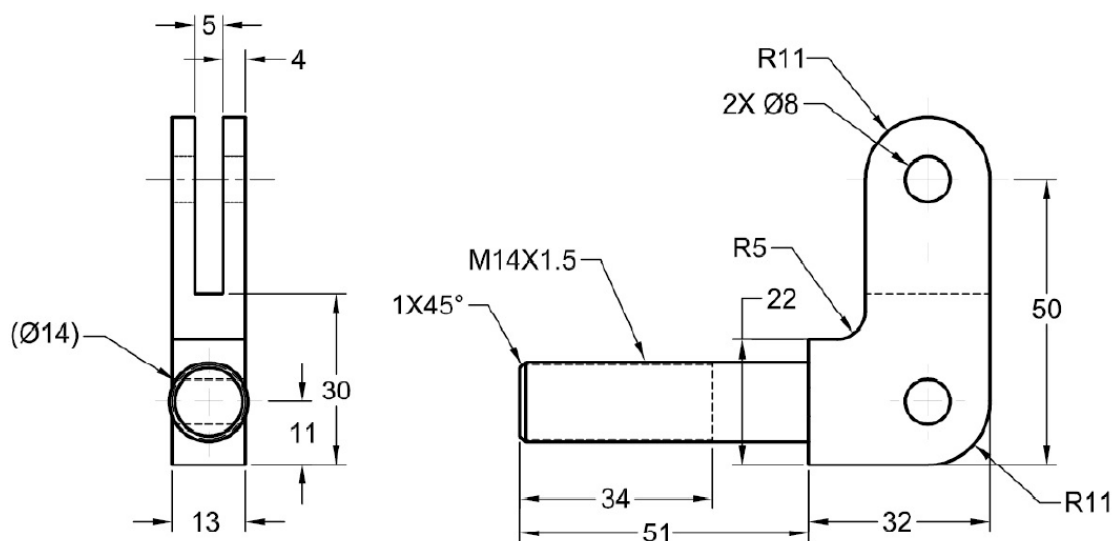


Рисунок 5.56 – Види та розміри для Практичного завдання 1

## Практичне завдання 2

Створіть модель, зображену на рисунку 5.57. Види та розміри моделі наведені на рисунку 5.58.

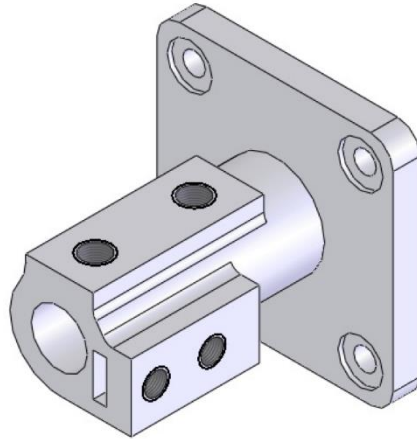


Рисунок 5.57 – Твердотільна модель для Практичного завдання 2

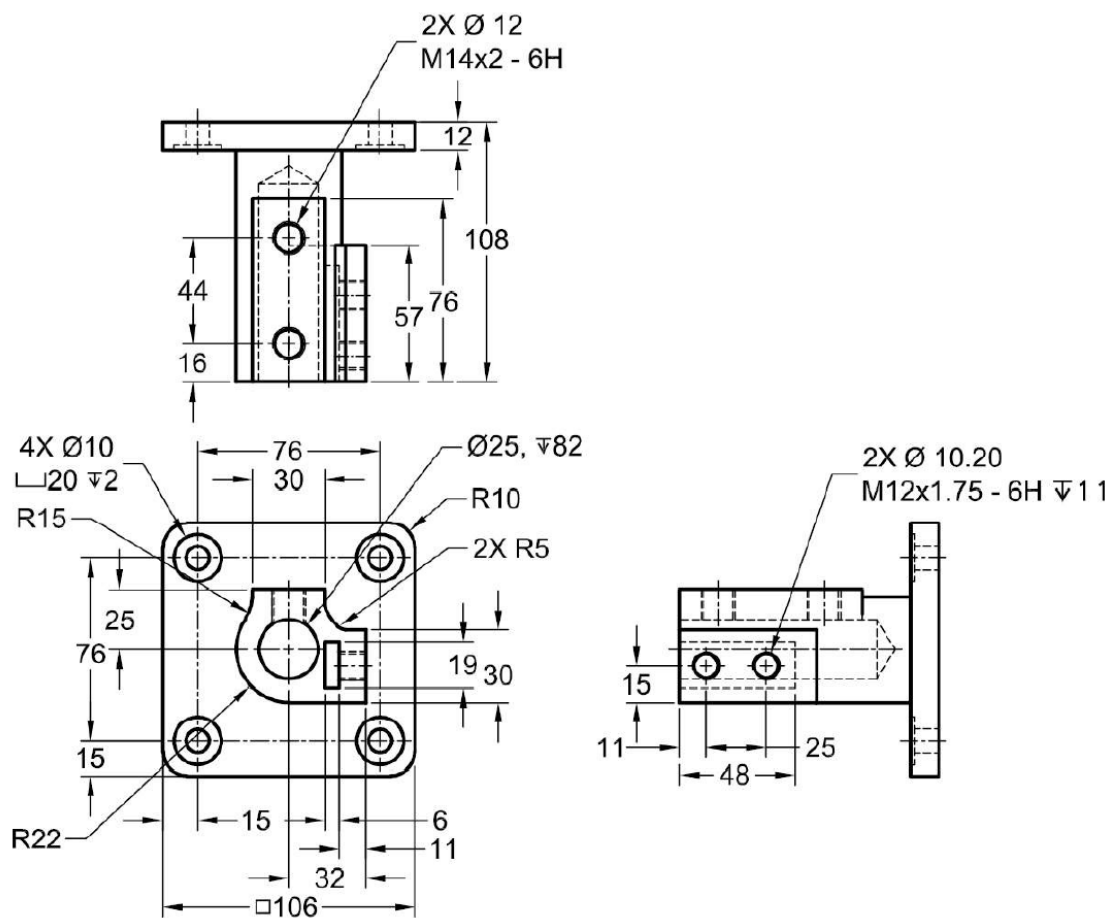


Рисунок 5.58 – Види та розміри для Практичного завдання 2

## 6 РОЗШИРЕНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ В SOLIDWORKS

Розширені інструменти моделювання в SOLIDWORKS дозволяють користувачам створювати складні та нетривіальні геометричні форми, які необхідні для точного відображення реальних деталей і конструкцій.

Використання таких інструментів, як оболонка (**Shell**), протяжка по траєкторії (**Sweep**), побудова по перетинам (**Loft**), нахил (**Draft**), криві (**Curves**) та тривимірні ескізи (**3D Sketches**), відкриває широкі можливості для моделювання складних елементів, зокрема в галузі гідромашинобудування.

Моделювання гідромашин часто передбачає створення деталей із складними обводами, внутрішніми порожнинами та специфічними формами, які не можуть бути змодельовані за допомогою базових інструментів. Наприклад, проточні частини турбін, лопаті, спіральні камери та інші елементи мають складну геометрію, що вимагає застосування розширених функцій для точного відображення конструктивних особливостей.

У цьому розділі розглянуто ключові інструменти SOLIDWORKS, які сприяють розв'язанню складних інженерних завдань. Кожен із цих інструментів детально описано, пояснено принцип їх роботи та наведено приклади застосування для моделювання конструкцій зі складною геометрією.

### 6.1 Створення моделей з тонкостінною структурою

#### Завдання 1

У цьому завданні розглядається побудова моделі, що представлена на рисунку 6.1. Розміри моделі наведені у тому ж рисунку.

#### Необхідні кроки для виконання цього завдання:

- а) Створіть базовий елемент моделі (рис. 6.3).
- б) Створіть другий, третій, четвертий та п'ятий елементи моделі (рисунки 6.4 – 6.7).

- в) Створіть отвір (рисунки 6.8 і 6.9).
- г) Створіть круговий шаблон отвору (рис. 6.10).
- д) Додайте заокруглення (рис. 6.11).
- е) Створіть оболонку (рис. 6.12).
- ж) Збережіть модель.

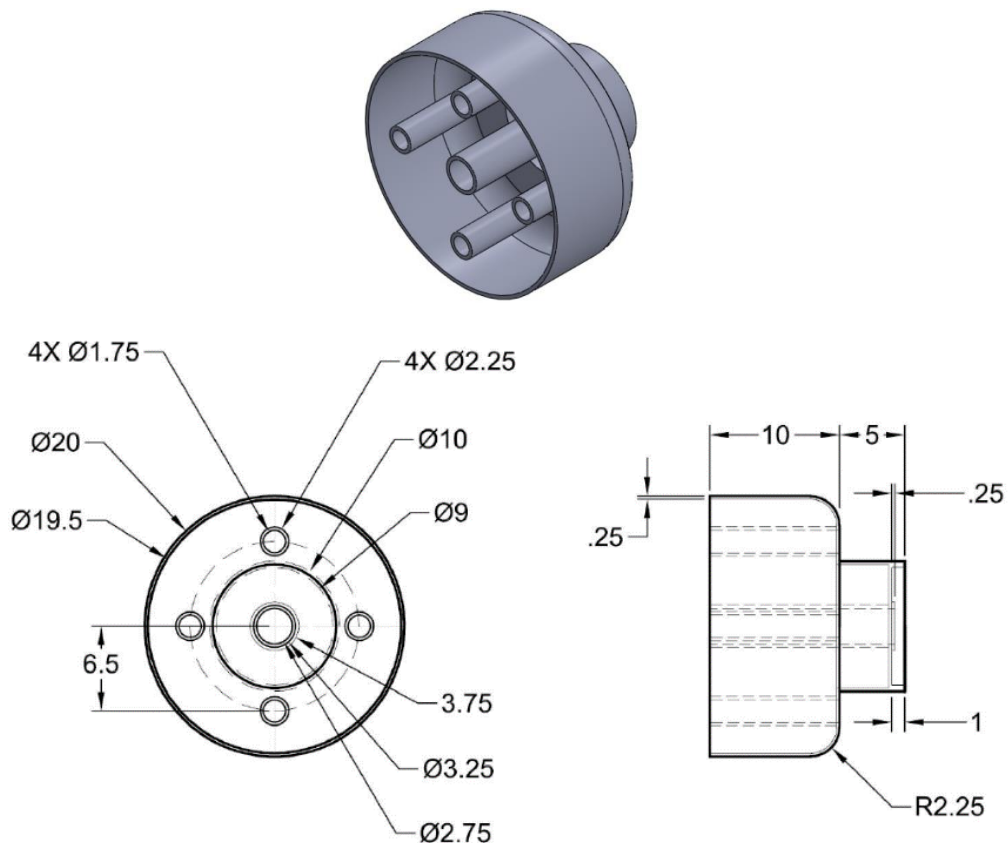


Рисунок 6.1 – Вигляди та розміри моделі для Завдання 1

### Створення базового елемента

Базовим елементом моделі є видавлене тіло, а ескіз цього елемента створюється на площині **Front Plane**.

1. Створіть новий документ деталі у SOLIDWORKS, використовуючи діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document**.

2. Увійдіть у середовище ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для ескізу, і нарисуйте коло діаметром 10 мм, як показано на рисунку 6.2. Потім вийдіть із середовища ескізу і змініть орієнтацію перегляду на ізометричну.

3. Викличте інструмент **Extruded Boss/Base** і видавіть ескіз на глибину 5 мм. Модель після створення базового елемента показано на рисунку 6.3.

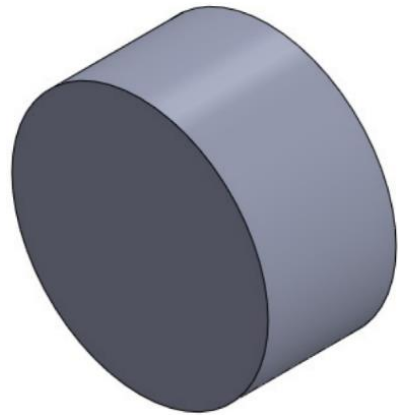
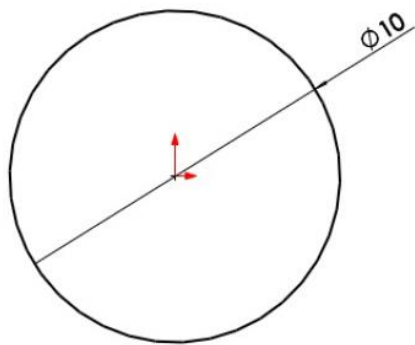


Рисунок 6.2 – Ескіз базового елемента    Рисунок 6.3 – Базовий елемент моделі

### Створення другого, третього, четвертого та п'ятого елементів

Тепер потрібно створити другий, третій, четвертий та п'ятий елементи моделі.

1. Увійдіть до середовища ескізу, обравши передню площину базового елемента як площину для ескізу.

2. Нарисуйте коло діаметром 20 мм. Потім викличте інструмент **Extruded Boss/Base** і видавіть ескіз на глибину 10 мм. Модель після створення другого елемента показано на рисунку 6.4.

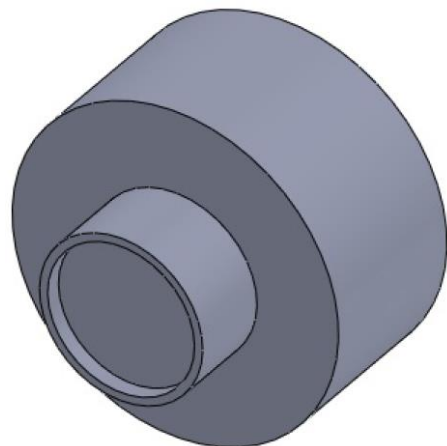
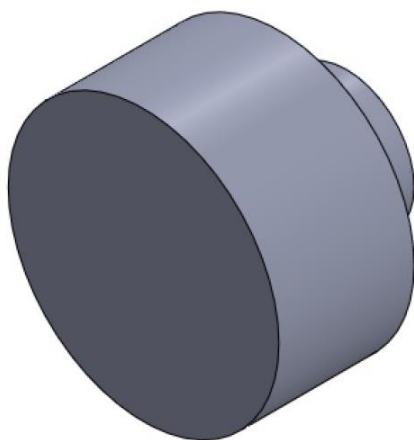


Рисунок 6.4 – Модель після створення другого елемента    Рисунок 6.5 – Модель після створення третього елемента

Після створення другого елемента потрібно створити третій елемент моделі.

3. Створіть третій елемент моделі, який є вирізом. Ескіз цього елемента створюється на задній площині базового елемента. Повернутий вигляд моделі після створення третього елемента показано на рисунку 6.5. Необхідні розміри задані на рисунку 6.1.

Далі потрібно створити четвертий елемент моделі.

4. Створіть четвертий елемент моделі, який є видавленим тілом. Повернутий вигляд моделі після створення четвертого елемента показано на рисунку 6.6. Розміри наведені на рисунку 6.1.

Далі потрібно створити п'ятий елемент моделі.

5. Створіть п'ятий елемент моделі, який є вирізом. Повернутий вигляд моделі після створення вирізу показано на рисунку 6.7. Розміри приведені на рисунку 6.1.

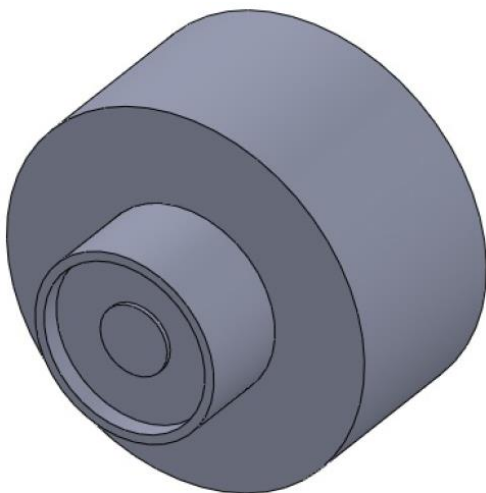


Рисунок 6.6 – Модель після створення четвертого елемента

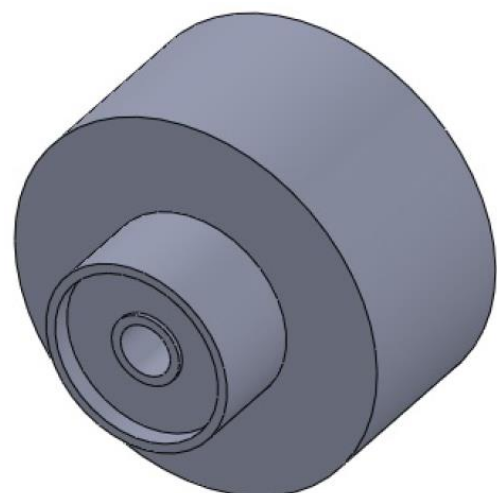


Рисунок 6.7 – Модель після створення п'ятого елемента

## Створення елемента отвору

Шостий елемент моделі – це отвір, який створюється за допомогою інструмента **Simple Hole**. Ви також можете створити цей елемент, використовуючи інструмент **Extruded Cut**.

1. Оберіть команду **Insert > Features > Simple** (Вставка > Елементи > Простий) у меню SOLIDWORKS; відкриється вікно **Hole PropertyManager**.

2. Змініть орієнтацію перегляду моделі на ізометричну та виберіть передню площину моделі як площину для розміщення отвору; з'явиться попередній перегляд отвору.

3. Установіть значення діаметра отвору (**Hole Diameter**) на 1.75 мм. Потім у випадаючому списку **End Condition** виберіть параметр **Through All**.

4. Натисніть **OK** у вікні **Hole PropertyManager**, щоб завершити створення отвору.

Тепер потрібно розташувати елемент отвору.

5. Виберіть елемент отвору у дереві побудови **FeatureManager Design Tree**; з'явиться спливаюча панель інструментів.

6. Оберіть кнопку **Edit Sketch** (Редагувати ескіз) на спливаючій панелі інструментів; відкриється середовище ескізу. Додайте необхідні відношення та розмір, щоб визначити центральну точку елемента отвору. Для розмірів зверніться до рисунка 6.8.

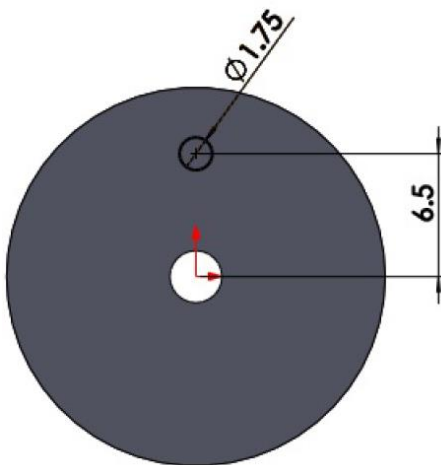


Рисунок 6.8 – Ескіз елемента отвору

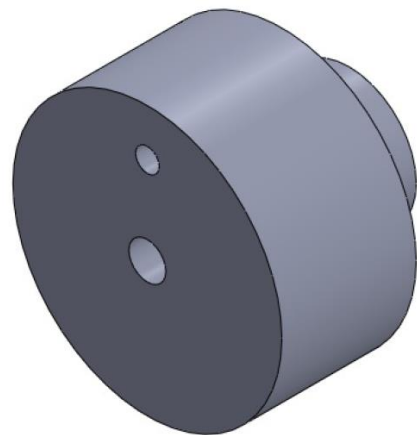


Рисунок 6.9 – Модель після створення елемента отвору

7. Вийдіть із середовища ескізу. Ізометричний вигляд моделі після створення елемента отвору показано на рисунку 6.9.

### Створення кругового шаблону елемента отвору

Після створення елемента отвору потрібно створити його інші екземпляри за допомогою інструмента **Circular Pattern** (Круговий шаблон).

1. Оберіть інструмент **Circular Pattern** у випадаючому меню **Linear Pattern** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Circular Pattern PropertyManager** (Менеджер властивостей кругового шаблону).

2. Виберіть створений раніше елемент отвору у дереві побудови **FeatureManager Design Tree**.

3. Клацніть на область вибору **Pattern Axis** (Вісь шаблону) у секції **Parameters** вікна PropertyManager, щоб активувати її, а потім виберіть кругову кромку моделі; з'явиться попередній перегляд кругового шаблону елемента отвору.

4. Установіть значення **Number of Instances** (Кількість екземплярів) на 4 і переконайтеся, що прапорець **Equal spacing** (Рівномірний розподіл) вибрано.

5. Натисніть **ОК** у вікні PropertyManager; елемент отвору буде розташовано за шаблоном, як показано на рисунку 6.10.

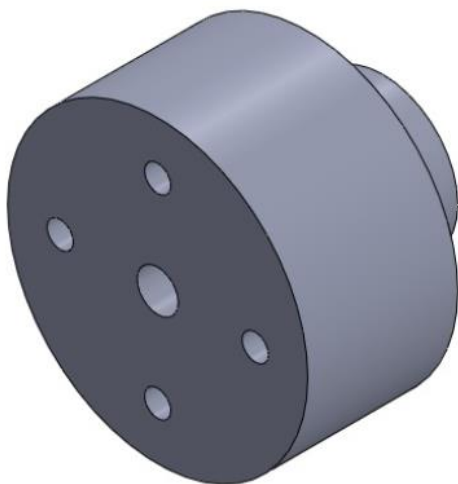


Рисунок 6.10 – Модель після створення кругового шаблону

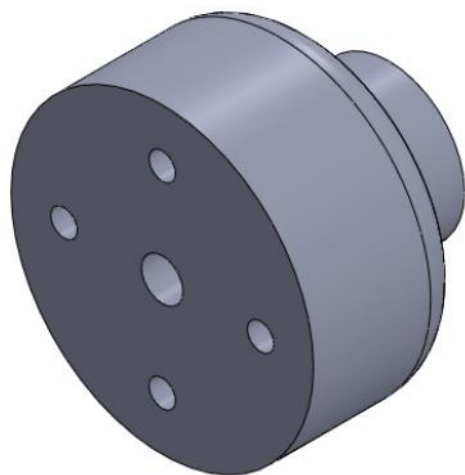


Рисунок 6.11 – Модель після створення елемента заокруглення



## Створення елемента заокруглення

Тепер потрібно створити елемент заокруглення за допомогою інструмента **Fillet**.

1. Викличте менеджер властивостей **Fillet PropertyManager** і створіть заокруглення радіусом 2.25 мм.
2. Модель після створення елемента заокруглення представлено на рисунку 6.11.

## Створення елемента оболонки

Як видно з рисунка 6.2, потрібно створити тонкостінну структуру. Це буде виконано за допомогою інструмента **Shell** (Оболонка).

1. Оберіть кнопку **Shell** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Shell1 PropertyManager**, і програма запропонує вибрати грані, які потрібно видалити.

Інструмент **Shell** використовується для видалення матеріалу з моделі, залишаючи тонкостінну порожню модель із заданою товщиною стінок і порожниною всередині. Крім того, у цій операції видаляється вибрана грань або грані моделі. Якщо жодна грань не вибрана для видалення, буде створено закриту порожнисту модель. Також можна задати різну товщину для стінок.

2. Виберіть передню площину моделі як грань для видалення; назва вибраної грані відобразиться у вікні вибору **Faces to Remove** (Грані для видалення) у **Shell1 PropertyManager**, а ця грань буде підсвічена синім у графічній зоні.

3. Встановіть значення товщини (**Thickness**) на 0.25 мм.

## Примітка

*Якщо товщина елемента оболонки перевищує радіус заокруглення, заокруглення не буде включене до оболонки. У результаті створюються гострі краї після додавання заокруглення. Те саме стосується і елемента фаски. Грань, вибрана для видалення, може бути як плоскою, так і криволінійною.*

4. Увімкніть прапорець **Show preview** (Показати попередній перегляд), якщо він не увімкнений за замовчуванням, щоб переглянути попередній вигляд елемента оболонки.

5. Переконайтеся, що прапорець **Shell outward** (Оболонка назовні) знятий у секції **Parameters** (Параметри) вікна PropertyManager, щоб створити оболонку всередині моделі.

### **Примітка**

*Якщо прапорець **Shell outward** увімкнено, елемент оболонки буде створено ззовні моделі.*

6. Натисніть **OK** у вікні PropertyManager; елемент оболонки із рівномірною товщиною стінок буде створено, як показано на рисунку 6.12.

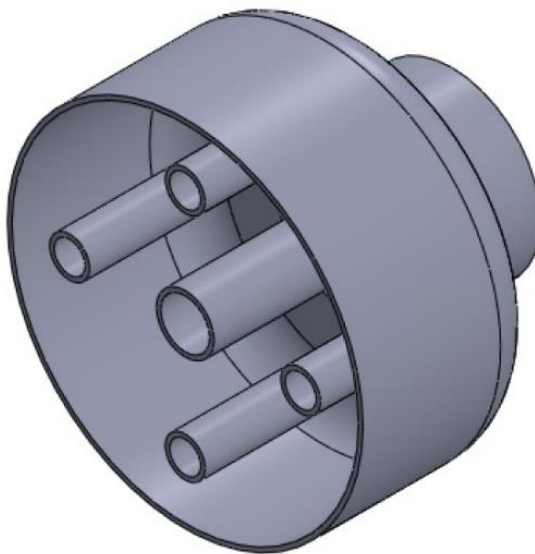


Рисунок 6.12 – Фінальна модель після створення елемента оболонки

### **Порада**

*Також можна створити оболонку з різною товщиною стінок. Для цього після вибору граней для видалення і встановлення значення товщини у полі **Thickness** у секції **Parameters**, активуйте режим вибору, натиснувши один раз у полі вибору **Multi-thickness Faces** (Грані з різною товщиною). Потім виберіть*

грані, для яких потрібно задати іншу товщину. Установіть значення товщини за допомогою поля **Multi-thickness** (Різна товщина) і натисніть **OK**.

### Збереження моделі

1. Збережіть модель давши їй назву у будь-якій зручній для вас папці.
2. Оберіть команду **File > Close** у меню SOLIDWORKS, щоб закрити файл.

## 6.2 Створення моделей з використанням інструменту Swept Boss/Base та тривимірних ескізів

### Завдання 2

У цьому практичному завданні розглянуто побудова моделі, показаної на рисунку 6.13. Розміри моделі приведені на тому ж рисунку.

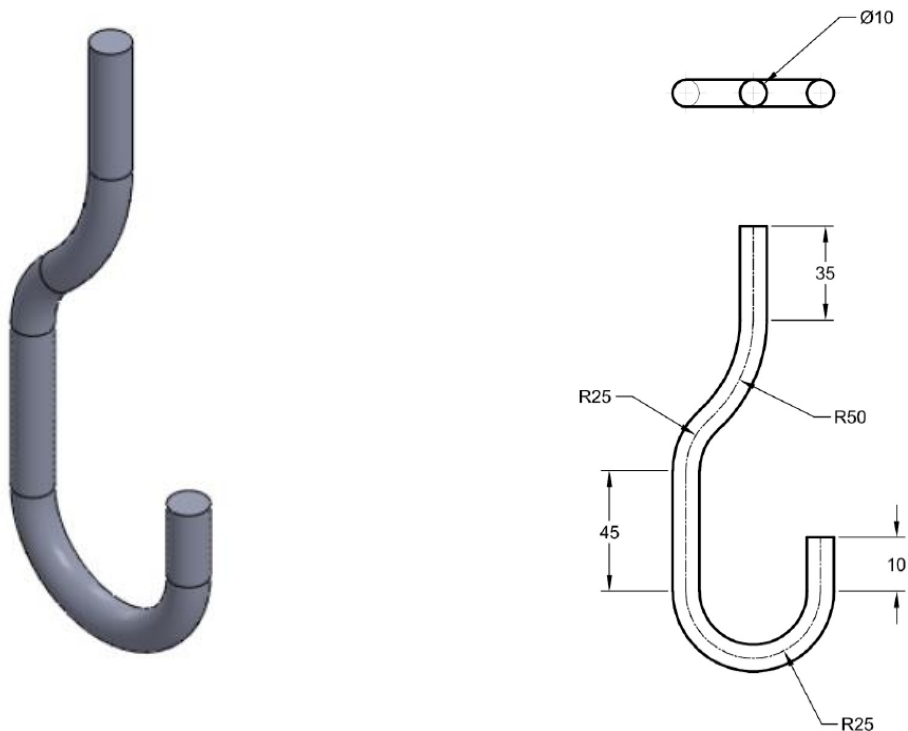


Рисунок 6.13 – Види та розміри моделі для Завдання 2

Для виконання цього завдання необхідно виконати наступні кроки:

- а) Створіть траєкторію для елемента протяжки (див. рисунок 6.14).
- б) Створіть профіль для елемента протяжки.

- в) Виконайте протяжку профілю вздовж траєкторії (див. рисунок 6.16).
- г) Збережіть модель.

### Створення траєкторії для елемента протяжки

Як видно з рисунка 6.13, модель створюється за допомогою елемента протяжки. У SOLIDWORKS елемент протяжки створюється за допомогою інструмента **Swept Boss/Base** (Протяжка тіла). Щоб створити протяжку, спочатку потрібно створити траєкторію та профіль. *Профіль* – це переріз елемента протяжки, а *траєкторія* – це шлях, яким переміщається профіль під час створення елемента протяжки.

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS, використовуючи діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document**.
2. Увійдіть до середовища ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для ескізу. Нарисуйте ескіз траєкторії для елемента протяжки, як показано на рисунку 6.14.
3. Вийдіть із середовища ескізу та змініть орієнтацію перегляду на ізометричну.

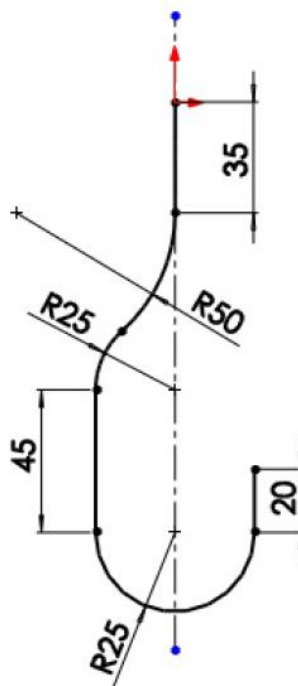


Рисунок 6.14 – Ескіз траєкторії

## Створення профілю для елемента протяжки

Після створення траєкторії для елемента протяжки потрібно створити його профіль. Щоб створити профіль, спочатку створіть опорну площину, перпендикулярну до траєкторії, і виберіть її як площину для ескізу. Однак у цьому прикладі профіль елемента протяжки можна створити на площині **Top Plane**, оскільки вона перпендикулярна до траєкторії.

### *Порада*

*Не обов'язково, щоб ескіз профілю для елемента протяжки перетинав траєкторію. Однак площина, на якій намальовано профіль, повинна лежати на одному з кінців траєкторії.*

1. Увійдіть до середовища ескізу, обравши площину **Top Plane** як площину для ескізу, і нарисуйте коло діаметром 10 мм. Зверніть увагу, що центральна точка кола розташована в початку координат площини.

2. Вийдіть із середовища ескізу після створення профілю для елемента протяжки.

## Створення елемента протяжки

Після створення траєкторії та профілю можна створити елемент протяжки за допомогою інструмента **Swept Boss/Base**.

1. Змініть орієнтацію перегляду моделі на ізометричну.

2. Оберіть кнопку **Swept Boss/Base** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Sweep PropertyManager** (рис. 6.15). Зверніть увагу, що область вибору **Profile** (Профіль) активована в секції **Profile and Path** (Профіль і траєкторія) вікна **PropertyManager**. Програма запропонує вибрати профіль для елемента протяжки.

Інструмент **Swept Boss/Base** є одним із найважливіших інструментів розширеного моделювання. Цей інструмент використовується для видавлювання

замкненого профілю вздовж відкритої або замкненої траєкторії. Тому для створення елемента протяжки потрібні профіль і траєкторія. Профіль повинен бути ескізом, а траєкторія може бути ескізом, кривою або ребром.

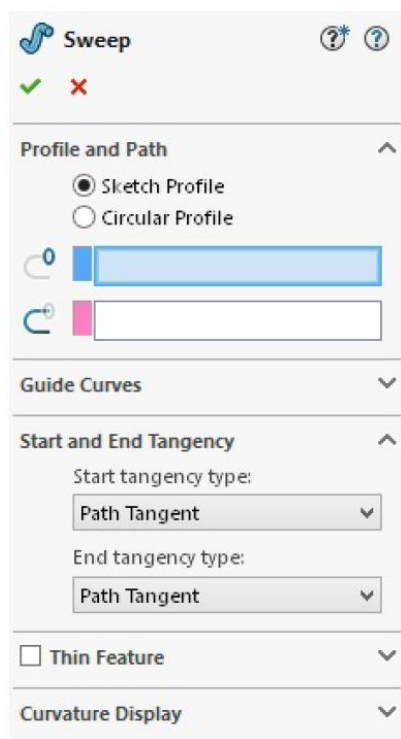


Рисунок 6.15 – Менеджер властивостей протяжки (Sweep)



Рисунок 6.16 – Модель після створення елемента протяжки

3. Виберіть коло як профіль для елемента протяжки; коло буде підсвічено, і до нього в графічній зоні прикріпиться маркер **Profile**. Його назва також відобразиться в області вибору **Profile**, а область вибору **Path** (Траєкторія) автоматично активується у вікні PropertyManager. Програма запропонує вибрати траєкторію для протяжки після вибору профілю.

4. Виберіть траєкторію для елемента протяжки; вибрана траєкторія буде підсвічена, і в графічній зоні з'явиться маркер **Path**. У графічній зоні також з'явиться попередній вигляд елемента протяжки.

Секція **Start/End Tangency** (Дотичність на початку/кінці) у вікні **Sweep PropertyManager** використовується для визначення умов дотичності на початку та в кінці елемента.

5. Залиште всі параметри у вікні **Sweep PropertyManager** за замовчуванням і натисніть **OK**; фінальна модель буде створена, як показано на рисунку 6.16.

### ***Порада***

*Програма надає можливість створити тонкостінну протяжку, задавши товщину елемента протяжки в секції **Thin Feature** (Тонкостінний елемент) у вікні **Sweep PropertyManager**. Опції в цій секції такі ж, як і в попередніх розділах, де було описано процес створення тонкостінних елементів методом видавлювання або обертання.*

### **Збереження моделі**

1. Збережіть модель давши їй назву у будь-якій зручній для вас папці.
2. Оберіть команду **File > Close** у меню SOLIDWORKS, щоб закрити файл.

### **Завдання 3**

У цьому завданні описано побудову моделі, що представлена на рисунку 6.17. Необхідні розміри моделі також наведено на цьому рисунку.

**Для виконання цього завдання необхідно виконати наступні кроки:**

- а) Створіть траєкторію для елемента протяжки за допомогою інструмента **Project Curve** (Проекція кривої) (див. рисунки 6.18 – 6.22).
- б) Створіть профіль для елемента протяжки.
- в) Виконайте протяжку профілю вздовж траєкторії (див. рис. 6.24).
- г) Збережіть модель.

### **Створення траєкторії для елемента протяжки**

Як видно з рисунка 6.17, модель потрібно створити шляхом протяжки профілю вздовж тривимірної траєкторії.

У цьому завданні необхідно створити тривимірну траєкторію елемента протяжки, проектуючи елементи ескізу один на одного за допомогою типу

проекції **Sketch on sketch** (Ескіз на ескіз) інструмента **Project Curve**. Однак, також можна створити тривимірну траекторію, використовуючи інструменти, доступні у середовищі тривимірного ескізу SOLIDWORKS.

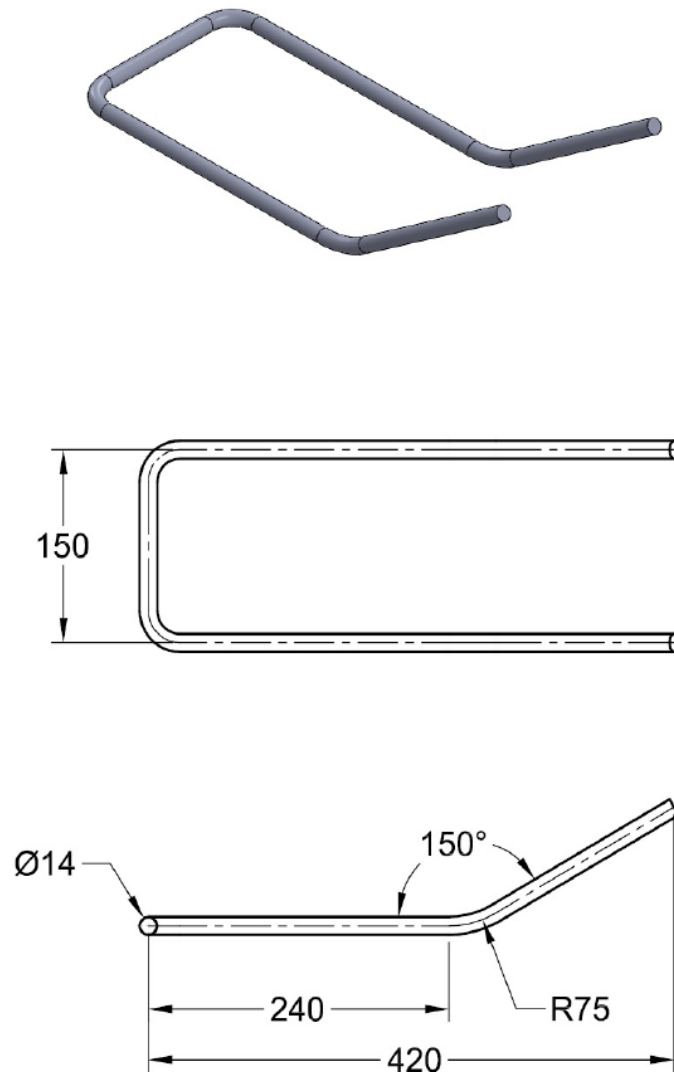


Рисунок 6.17 – Вигляди та розміри моделі для Завдання 3

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS, використовуючи діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document**.

Тепер потрібно створити два ескізи на різних площинах, які будуть проектуватися один на одного.

2. Увійдіть до середовища ескізу, обравши площину **Top Plane** як площину для створення першого ескізу для проекції.



3. Нарисуйте ескіз, як показано на рисунку 6.18, і вийдіть із середовища ескізу.

Після створення першого ескізу потрібно створити інший ескіз для проекції.

4. Увійдіть до середовища ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для ескізу, і нарисуйте ескіз, як показано на рисунку 6.19. Потім вийдіть із середовища ескізу і змініть вигляд на ізометричний.

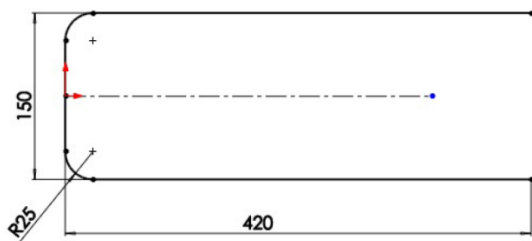


Рисунок 6.18 – Ескіз, створений на площині Top Plane

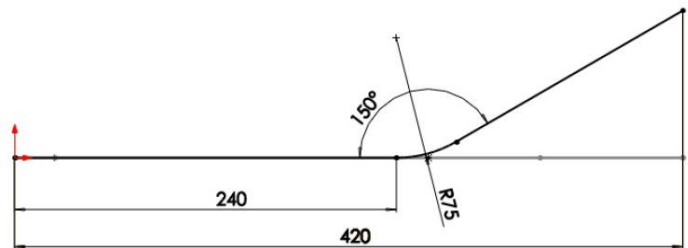


Рисунок 6.19 – Ескіз, створений на площині Front Plane

Тепер потрібно створити тривимірну траєкторію для елемента протяжки, проектуючи раніше створені елементи ескізу один на одного за допомогою інструмента **Project Curve**.

5. Оберіть інструмент **Project Curve** у меню **Curves** (Криві), яке знаходиться у випадаючому меню панелі **Features CommandManager** (рис. 6.20); відкриється вікно **Projected Curve PropertyManager** (рис. 6.21).

У SOLIDWORKS можна створювати різні типи кривих. Ці криві зазвичай використовуються для створення складних форм за допомогою інструментів **Swept Boss/Base** (Протяжка тіла) та **Lofted Boss/Base** (Тіло по перетинам). Усі інструменти для створення кривих згруповані у меню **Curves** (рис. 6.20)

Інструмент **Project Curve** використовується для проекції замкненого або відкритого елемента ескізу на одну або кілька площинних чи криволінійних граней. Ви також можете проектувати елементи ескізу один на одного для створення тривимірної кривої. Для створення проектованої кривої необхідно

намалювати щонайменше два ескізи або один ескіз і хоча б одну площину чи елемент, які не лежать в одній площині.

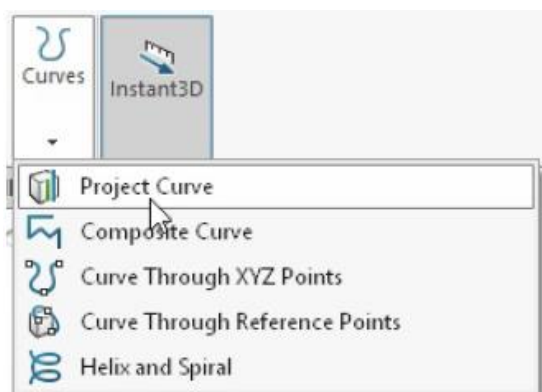


Рисунок 6.20 – Меню кривих

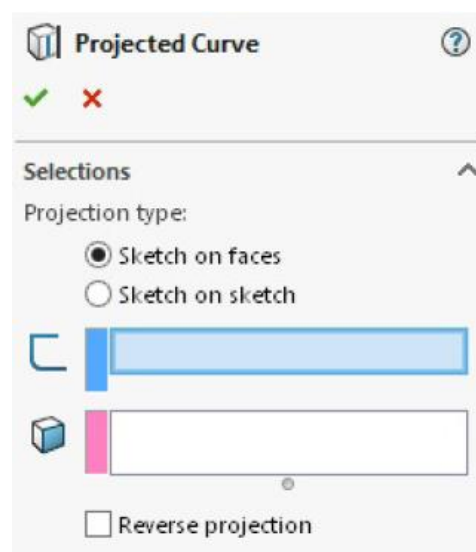


Рисунок 6.21 – Менеджер властивостей проекції кривої

6. Переконайтеся, що у секції **Project Type** (Тип проекції) активовано перемикач **Sketch on sketch** (Ескіз на ескіз) у вікні PropertyManager. Програма запропонує вибрати два ескізи для проекції.

Перемикач **Sketch on sketch** використовується для проекції елемента ескізу на інший елемент ескізу для створення тривимірної кривої. Однак перемикач **Sketch on faces** (Ескіз на гранях) використовується для проекції ескізу на площинну або криволінійну грань.

7. Виберіть обидва раніше створені ескізи у графічній зоні один за одним; назви вибраних ескізів відобразяться у вікні вибору **Sketches to Project** (Ескізи для проекції) у PropertyManager. У графічній зоні також відобразиться попередній вигляд тривимірної кривої.

8. Натисніть **OK** у вікні PropertyManager; тривимірна крива буде створена, як показано на рисунку 6.22.

## Створення профілю для елемента протяжки

Після створення траєкторії для елемента протяжки потрібно створити його профіль. Як зазначалося раніше, профіль є перерізом для елемента протяжки, а траєкторія – це шлях, яким переміщається профіль під час створення елемента протяжки. Щоб створити профіль, спочатку необхідно створити опорну площину, перпендикулярну до траєкторії, і вибрати її як площину для створення профілю елемента протяжки.

1. Викличте менеджер властивостей **Plane PropertyManager** і створіть площину, перпендикулярну до траєкторії та збігається з кінцевою точкою кривої, як продемонстровано на рисунку 6.23.

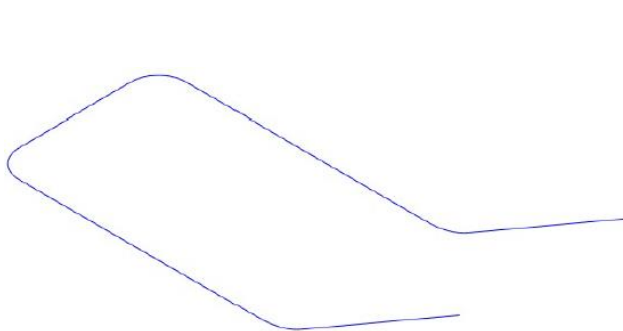


Рисунок 6.22 – Тривимірна крива, створена шляхом проекції ескізів

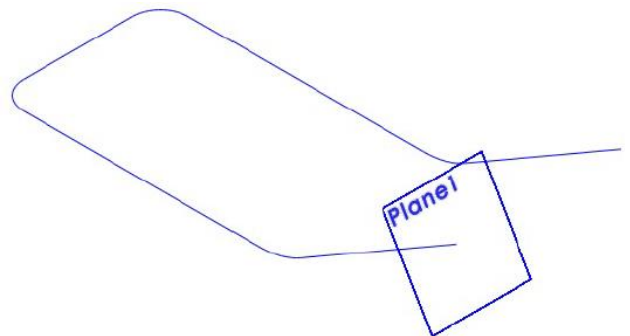


Рисунок 6.23 – Площина, створена перпендикулярно до траєкторії

2. Увійдіть до середовища ескізу, обравши новостворену площину як площину для ескізу.

3. Нарисуйте ескіз профілю для елемента протяжки за допомогою інструмента **Circle**. Центр кола повинен збігатися з початком координат площини, а діаметр кола має дорівнювати 14 мм.

4. Вийдіть із середовища ескізу після створення профілю для елемента протяжки.

## Створення елемента протяжки

Після створення траєкторії та профілю можна створити елемент протяжки за допомогою інструмента **Swept Boss/Base**.

1. Змініть орієнтацію перегляду моделі на ізометричну.
2. Оберіть кнопку **Swept Boss/Base** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Sweep PropertyManager**, і програма запропонує вибрати профіль для елемента протяжки.
3. Виберіть коло як профіль для елемента протяжки; коло буде підсвічено, і до нього в графічній зоні прикріпиться маркер **Profile**. Його назва також відобразиться в області вибору **Profile** у вікні **PropertyManager**, а область вибору **Path** активується автоматично. Програма запропонує вибрати траєкторію для протяжки після вибору профілю.
4. Виберіть траєкторію для елемента протяжки; вибрана траєкторія буде підсвічена, і в графічній зоні з'явиться маркер **Path**. У графічній зоні також з'явиться попередній вигляд елемента протяжки.
5. Залиште всі параметри у вікні **Sweep PropertyManager** за замовчуванням і натисніть **OK**; елемент протяжки буде створено. На рисунку 6.24 показано фінальну модель після приховування опорної площини.

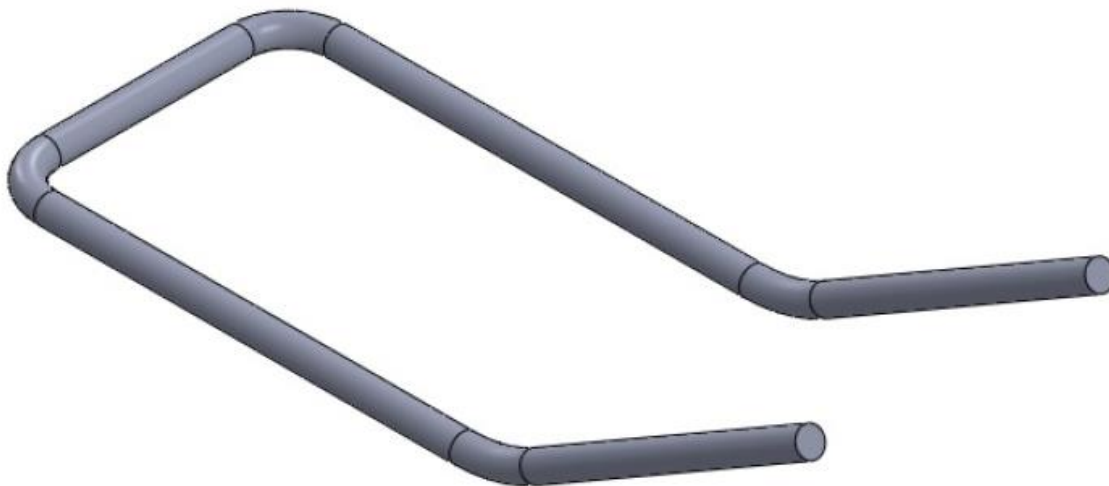


Рисунок 6.24 – Фінальна модель для Завдання 3

### Збереження моделі

1. Збережіть модель давши їй назву у будь-якій зручній для вас папці.
2. Оберіть команду **File > Close** у меню **SOLIDWORKS**, щоб закрити файл.

#### Завдання 4

У цьому завданні розглядається побудова каркасу стільця, показаного на рисунку 6.25. Розміри каркаса стільця також наведено на цьому рисунку.

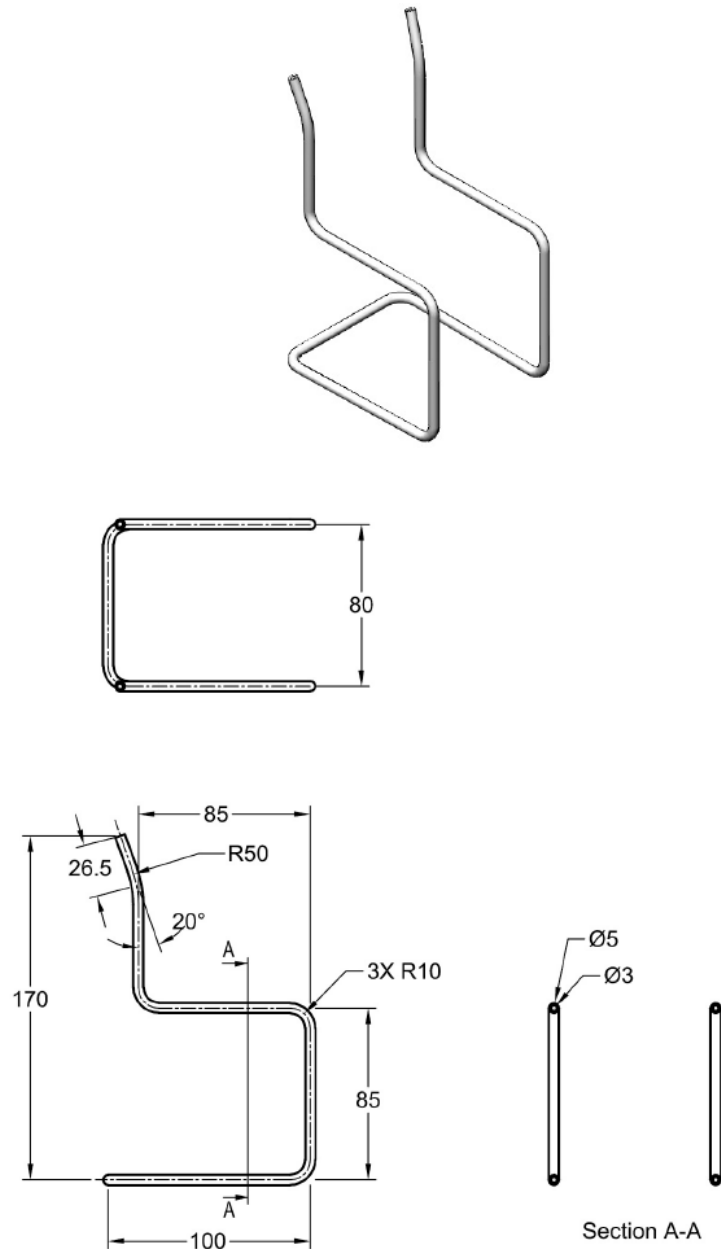


Рисунок 6.25 – Вигляди та розміри моделі для Завдання 4

**Для виконання цього завдання необхідно виконати наступні кроки:**

а) Увійдіть у середовище тривимірного ескізу та створіть ескіз тривимірної траєкторії. Створіть лише ліву половину траєкторії в середовищі 3D ескізу (див. рисунок 6.27).

б) Виберіть площину **Front Plane** як площину для створення ескізу профілю.

в) Виконайте протяжку профілю вздовж тривимірної траєкторії, використовуючи опцію **Thin Feature** (див. рисунок 6.28).

г) Дзеркально відобразіть елемент протяжки відносно площини **Front Plane** (рис. 6.29).

д) Збережіть модель.

### Створення траєкторії для елемента протяжки за допомогою середовища 3D ескізу

Як видно з рисунка 6.25, модель потрібно створити шляхом протяжки профілю вздовж тривимірної траєкторії. Для цього потрібно створити траєкторію для елемента протяжки у середовищі 3D ескізу.

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS.
2. Створіть площину на відстані 40 мм від площини **Front Plane**.
3. Змініть орієнтацію перегляду на ізометричну.
4. Оберіть кнопку **3D Sketch** (3D ескіз) у випадаючому меню **Sketch** на панелі **Sketch CommandManager** (Рис. 8.26) або команду **Insert > 3D Sketch** у меню SOLIDWORKS; відкриється середовище 3D ескізу. Початок координат буде підсвічено червоним, а в правому верхньому куті графічної зони з'явиться кут підтвердження. Інструменти для створення ескізів, які можна використовувати в середовищі 3D ескізу, також будуть виділені.



Рисунок 6.26 – Меню Sketch

Потрібно створити ліву половину ескізу як траєкторію для протяжки профілю.

5. Викличте інструмент **Line** (Лінія) у меню **Sketch CommandManager**; відкриється вікно **Insert Line PropertyManager**. Курсор вибору заміниться курсором лінії з підписом **XY** унизу.

Символ **XY** під курсором лінії вказує, що лінія буде створена у площині XY. Ви можете переключатися між площинами за допомогою клавіші TAB. При цьому орієнтація системи координат змінюється відповідно до поточної площини. Перемістіть курсор до місця, з якого ви хочете почати створення ескізу.

6. Натисніть клавішу TAB двічі, щоб перейти до площини ZX.

7. Перемістіть курсор лінії до початку координат. Коли з'явиться червона точка, клацніть, щоб вказати початкову точку лінії.

### ***Порада***

*Також можна змінити площину після вказання початкової точки лінії.*

8. Перемістіть курсор у позитивному напрямку осі Z тривимірної системи координат; під курсором з'явиться маленький значок системи координат із позначкою Z, що вказує на те, що лінія створюється вздовж осі Z. Натисніть, щоб вказати кінцеву точку лінії, коли над курсором відобразиться значення, близьке до 40; до курсора буде прикріплена лінія, яка відображається як еластична стрічка.

9. Перемістіть курсор вправо вздовж нескінченної лінії, що позначає вісь X. Клацніть, щоб вказати кінцеву точку лінії, коли над курсором з'явиться значення, близьке до 100.

10. Натисніть клавішу TAB, щоб переключитися на площину XY. Перемістіть курсор вертикально вгору.

11. Клацніть, щоб вказати кінцеву точку лінії, коли над курсором з'явиться значення, близьке до 85.

12. Аналогічно створіть решту ескізу, додайте необхідні відношення та розміри.

13. Застосуйте відношення **On Plane** (На площині) між верхньою кінцевою точкою 3D ескізу та площиною **Plane1**. Фінальний ескіз показано на рисунку 6.27.

14. Вийдіть із середовища 3D ескізу за допомогою кута підтвердження.

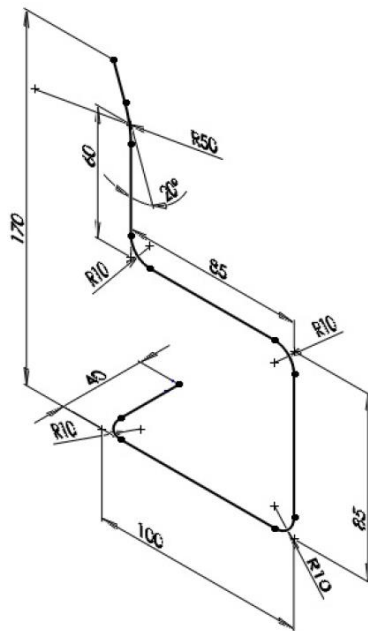


Рисунок 6.27 – Ескіз тривимірної траєкторії

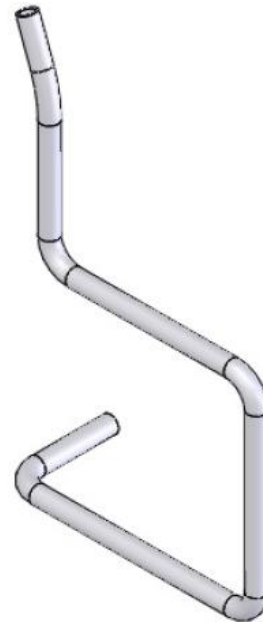


Рисунок 6.28 – Елемент протяжки, створений шляхом протяжки профілю вздовж тривимірної траєкторії

### Протяжка профілю вздовж тривимірної траєкторії за допомогою кругового профілю

Як обговорювалося раніше, елемент протяжки створюється шляхом протяжки профілю вздовж тривимірної траєкторії. У SOLIDWORKS можна безпосередньо створити круговий профіль.

1. Оберіть кнопку **Swept Boss/Base**) на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Sweep PropertyManager**.

2. У секції **Profile and Path** (Профіль і траєкторія) у вікні **Sweep PropertyManager** оберіть перемикач **Circular Profile** (Круговий профіль).



3. Виберіть 3D ескіз як траєкторію для елемента протяжки; назва траєкторії з'явиться у вікні вибору. Установіть значення діаметра (**Diameter Spinner**) на 5 мм. У графічній зоні також відобразяться маркер **Path** і попередній вигляд елемента протяжки. Як видно з рисунка 6.28, каркас стільця складається з порожнистої труби. Тому потрібно створити тонкостінний елемент протяжки для створення порожнистого каркаса стільця.

4. У секції **Thin Feature** (Тонкостінний елемент) задайте значення товщини (**Thickness**) на 1 мм.

За замовчуванням товщина задається в зовнішньому напрямку від ескізу. Ви також можете створити тонкостінний елемент усередині ескізу. Для цього потрібно вибрати кнопку **Reverse Direction** (Змінити напрямок).

5. Натисніть кнопку **Reverse Direction** у секції **Thin Features**, щоб змінити напрямок створення тонкостінного елемента всередину ескізу.

6. Натисніть **OK** у вікні **Sweep PropertyManager**, щоб завершити створення елемента. Модель після створення елемента протяжки представлено на рисунку 6.28.

7. Дзеркально відобразіть елемент протяжки відносно площини **Front Plane**, використовуючи інструмент **Mirror**. Модель після дзеркального відображення показано на рисунку 6.29.

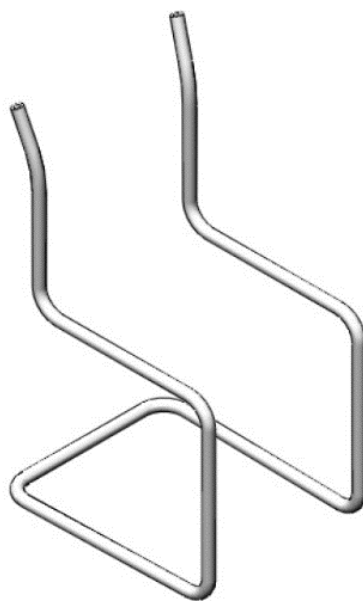


Рисунок 6.29 – Фінальна модель для Завдання 4

### Збереження моделі

1. Збережіть модель давши їй назву у будь-якій зручній для вас папці.
2. Оберіть команду **File > Close** у меню SOLIDWORKS, щоб закрити файл.

## 6.3 Побудова моделей з використанням інструменту Lofted Boss/Base (Тіло по перетинам)

### Завдання 5

У цьому завданні розглядається створення моделі, представленої на рисунку 6.30. Розміри моделі наведені на рисунку 6.31.

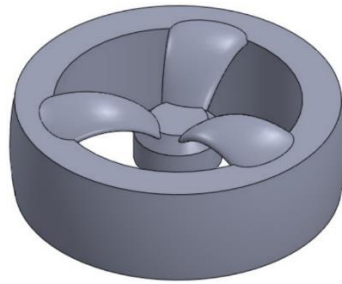


Рисунок 6.30 – Модель для Завдання 5

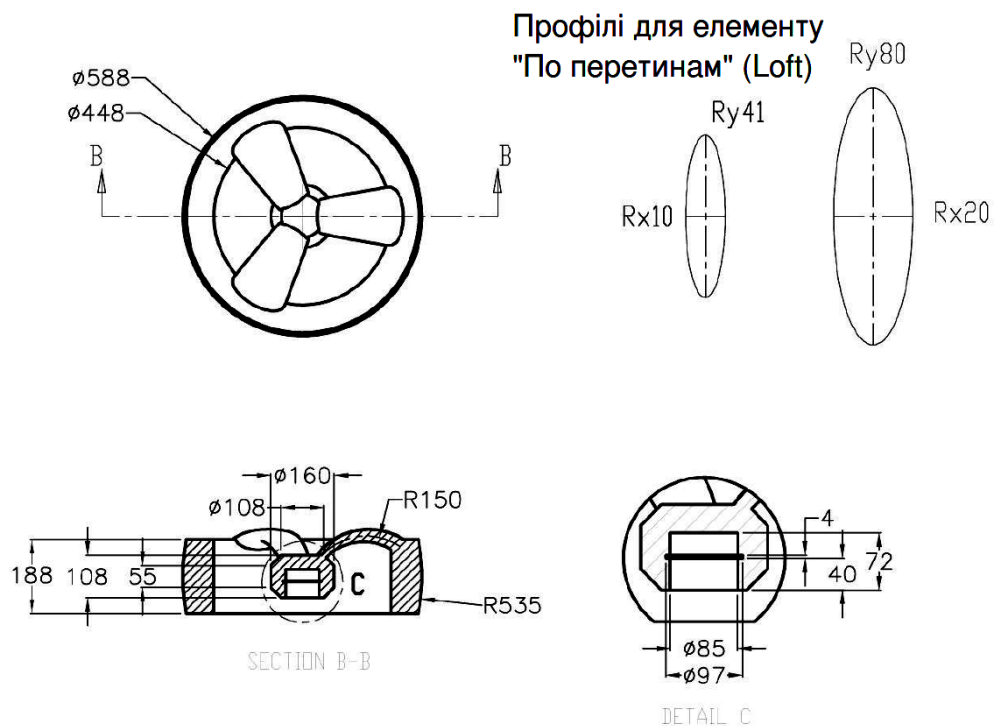


Рисунок 6.31 – Вигляди та розміри моделі для Завдання 5

Для виконання цього завдання необхідно виконати наступні кроки:

- а) Створіть елемент обертання як базовий елемент моделі (див. рисунки 6.32 і 6.33).
- б) Створіть елемент «по перетинам», поєднавши два перерізи вздовж заданої траєкторії (див. рисунки 6.34 – 6.41).
- в) Створіть круговий шаблон елемента «по перетинам» (рис. 6.42).
- г) Збережіть модель.

### Створення базового елемента

Базовим елементом моделі є елемент обертання.

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS та увійдіть у середовище ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для ескізу.
2. Нарисуйте ескіз для елемента обертання, як показано на рисунку 6.32.

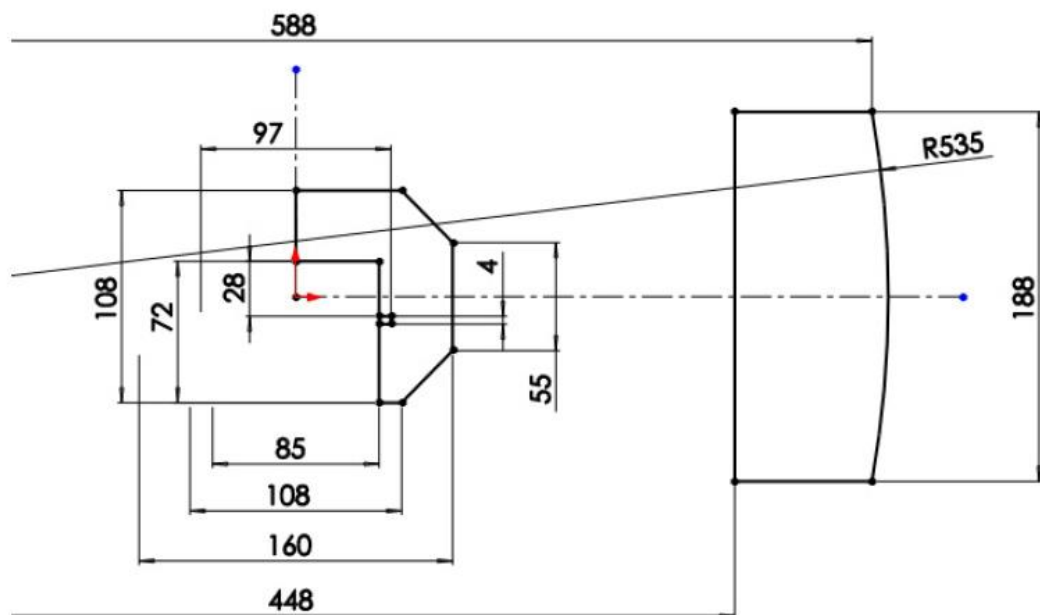


Рисунок 6.32 – Ескіз для елемента обертання

3. Оберіть кнопку **Revolved Boss/Base** (Обертання тіла) на панелі **Features CommandManager**; ескіз автоматично орієнтується у триметричному вигляді, і відкривається вікно **Revolve PropertyManager**.

Оскільки ескіз на рисунку 6.32 містить дві осьові лінії, SOLIDWORKS не може визначити, яку з них використовувати як вісь обертання. Тому програма запропонує вибрати вісь обертання.

4. Виберіть вертикальну центральну лінію як вісь обертання; у графічній зоні відобразиться попередній вигляд елемента обертання з параметрами за замовчуванням.

5. Переконайтеся, що у випадаючому списку **Revolve Type** (Тип обертання) вибрано параметр **Blind**, а у полі **Direction 1 Angle** (Кут напрямку 1) встановлено значення 360°.

6. Натисніть **OK** у вікні PropertyManager; елемент обертання буде створено, як показано на рисунку 6.33.

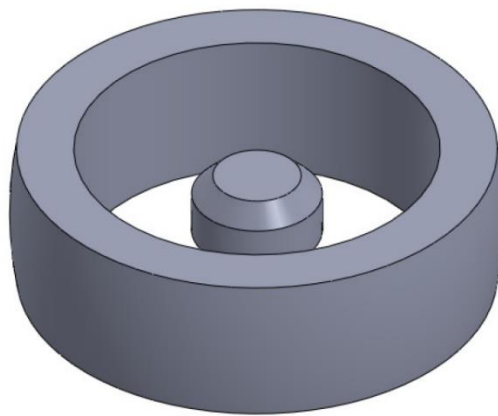


Рисунок 6.33 – Модель після створення елемента обертання

### Створення елемента "тіло по перетинам"

Другим елементом моделі є елемент "по перетинам", створений за допомогою інструмента **Lofted Boss/Base**. Елементи "по перетинам" створюються шляхом об'єднання декількох схожих або різних перетинів для отримання форми довільної геометрії. Ці перетини можуть бути як паралельними, так і непаралельними один одному. У цьому завданні необхідно створити елемент "по перетинам", об'єднавши два перетини вздовж заданої траєкторії. Тому спочатку потрібно створити траєкторію, а потім перетини для створення цього елемента.

1. Увійдіть у середовище ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для створення траєкторії, яка визначатиме перехід між перетинами.

2. Змініть поточний стиль відображення моделі на **Hidden Lines Visible** (Видимі приховані лінії), обравши **Display Style > Hidden Lines Visible** у панелі **View (Heads-Up)**. Потім змініть орієнтацію моделі на перпендикулярну до вигляду.

3. Створіть ескіз траєкторії, як показано на рисунку 6.34.

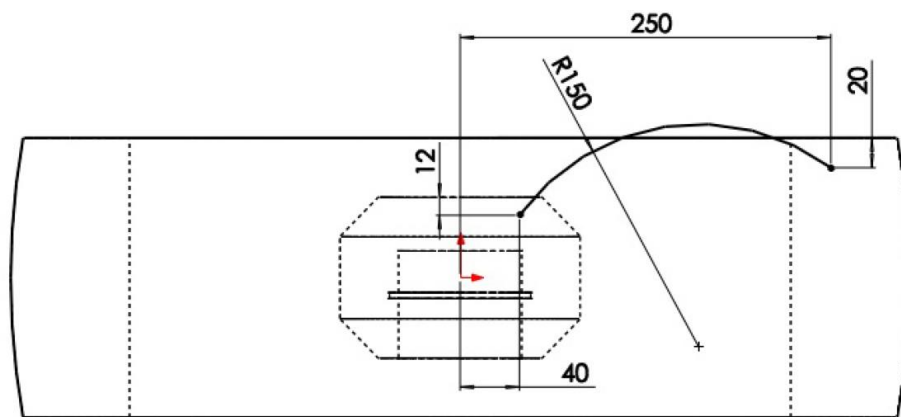


Рисунок 6.34 – Ескіз траєкторії

Після створення траєкторії потрібно створити перетини для елемента "по перетинам". У цьому завданні потрібно створити опорні площини, перпендикулярні до траєкторії, на обох її кінцях, щоб створити перетини для елемента "по перетинам".

4. Змініть стиль відображення моделі на **Shaded with Edges** (Затінений з ребрами).

5. Викличте менеджер властивостей **Plane PropertyManager** і виберіть раніше створену траєкторію як перше посилання для створення площини. Потім виберіть одну з її кінцевих точок як друге посилання; відобразиться попередній вигляд опорної площини. Натисніть кнопку **OK** у вікні **PropertyManager**.

6. Аналогічно створіть ще одну опорну площину, перпендикулярну до траєкторії, яка збігається з іншою кінцевою точкою траєкторії. На рисунку 6.35 показано ізометричний вигляд моделі після створення опорних площин.

Після створення опорних площин потрібно створити перетини для елемента "по перетинам".

7. Виберіть опорну площину (див. рисунок 6.36) для входу в середовище ескізу, а потім створіть еліптичний перетин, як показано на рисунку 6.37. Вийдіть із середовища ескізу.

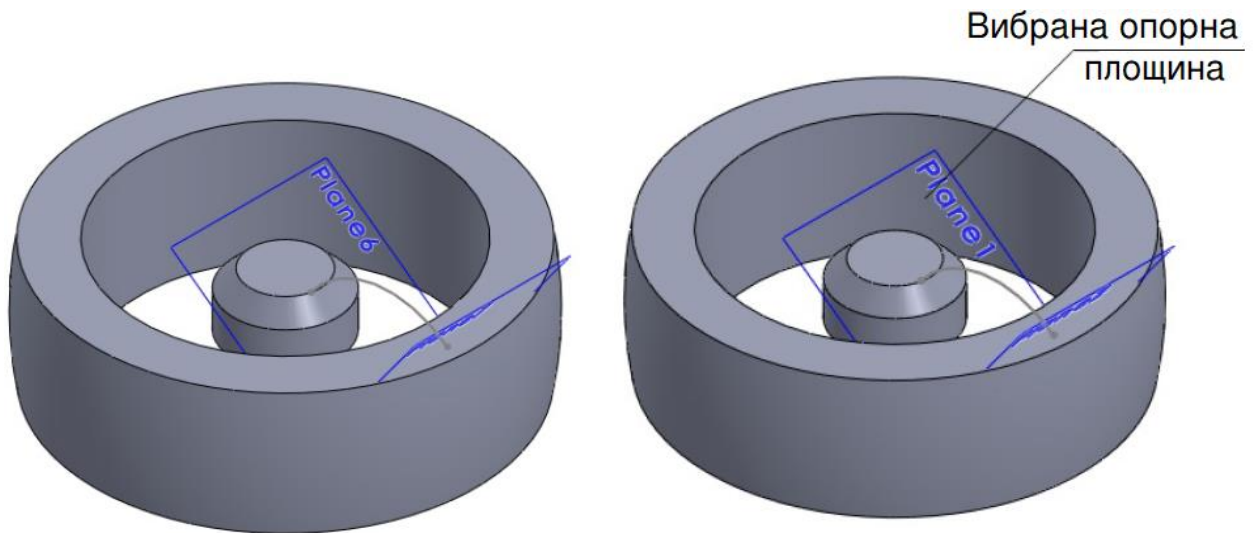


Рисунок 6.35 – Опорні площини, створені на кінцевих точках траєкторії

Рисунок 6.36 – Вибрана опорна площина

8. Знову увійдіть у середовище ескізу, вибравши другу опорну площину, створену раніше, як площину для ескізу, і нарисуйте другий перетин елемента "по перетинам", як показано на рисунку 6.38. Потім вийдіть із середовища ескізу.

Тепер потрібно створити елемент "по перетинам", об'єднавши раніше створені перетини вздовж траєкторії за допомогою інструмента **Lofted Boss/Base**.

9. Оберіть кнопку **Lofted Boss/Base** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Loft PropertyManager**. Програма також запропонує вибрати щонайменше два профілі.

Як зазначалося раніше, інструмент **Lofted Boss/Base** використовується для створення елемента "по перетинам" шляхом об'єднання більш ніж одного подібного або різного перетину для отримання форми довільної геометрії. Ці

перетини можуть бути як паралельними, так і непаралельними один одному. Зверніть увагу, що перетини для створення суцільного елемента "по перетинам" мають бути замкненими ескізами.

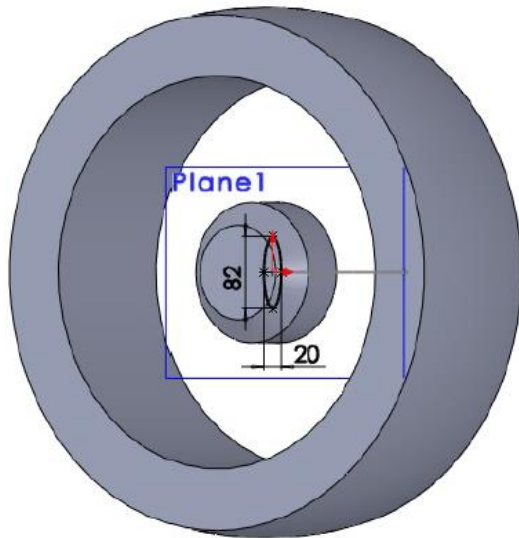


Рисунок 6.37 – Перший перетин, створений для елемента "по перетинам"

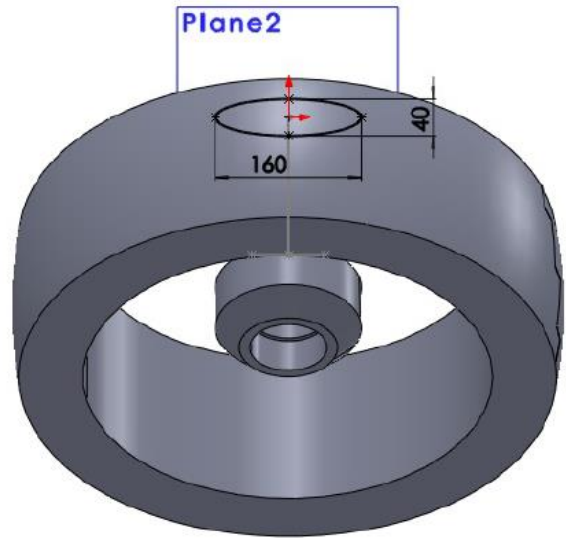


Рисунок 6.38 – Другий перетин, створений для елемента "по перетинам"

10. Виберіть обидва перетини в графічній зоні один за одним; у графічній зоні відобразиться попередній вигляд елемента "по перетинам" із маркером з'єднувача, як показано на рисунку 6.39. Назви вибраних перетинів або профілів також відобразяться у вікні вибору **Profiles** у секції **Profiles rollout** у вікні **Loft PropertyManager**.

### **Примітка**

За замовчуванням у попередньому вигляді елемента "по перетинам" відображається сітка. Ви можете вимкнути цю сітку, клацнувши правою кнопкою миші в графічній зоні та вибравши **Mesh Preview > Clear All Meshed Faces** (Очистити всі сітчасті грані) у контекстному меню.

Якщо початкові та кінцеві перетини "по перетинам" є круговими, еліптичними або замкненими кривими, з попереднім виглядом елемента "по перетинам" відобразиться лише один з'єднувач.

Також можна додати більше з'єднувачів. Для цього клацніть правою кнопкою миші на ескізі в місці, де хочете додати з'єднувач, і виберіть **Add Connector** (Додати з'єднувач) у контекстному меню.

11. Натисніть стрілку вниз біля секції **Centerline Parameters** у вікні **Loft PropertyManager**, щоб розгорнути її.

Секція **Centerline Parameters** використовується для створення елемента "по перетинам" шляхом об'єднання двох або більше перетинів уздовж заданої траєкторії.

12. Виберіть раніше створену траєкторію в графічній зоні для вказання переходу елемента "по перетинам"; попередній вигляд елемента буде змінено відповідно, як продемонстровано на рисунку 6.40.

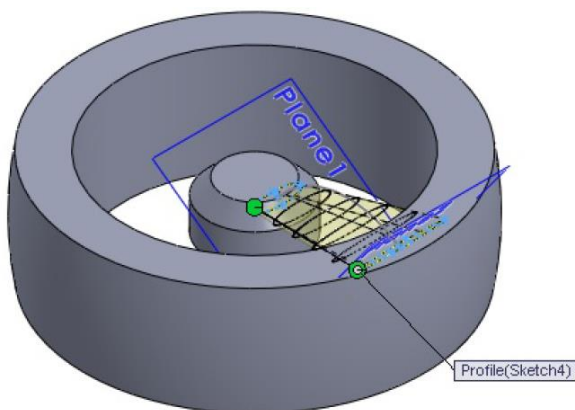


Рисунок 6.39 – Попередній вигляд елемента "по перетинам"

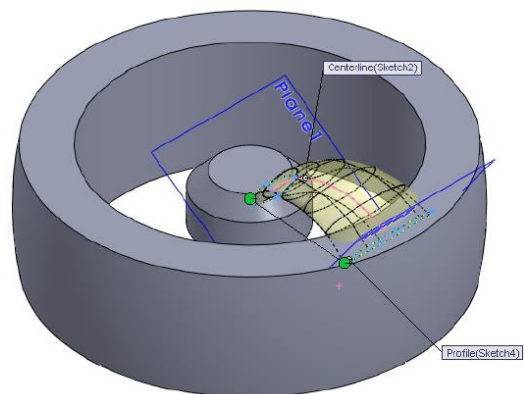


Рисунок 6.40 – Попередній вигляд елемента "по перетинам" після вибору траєкторії

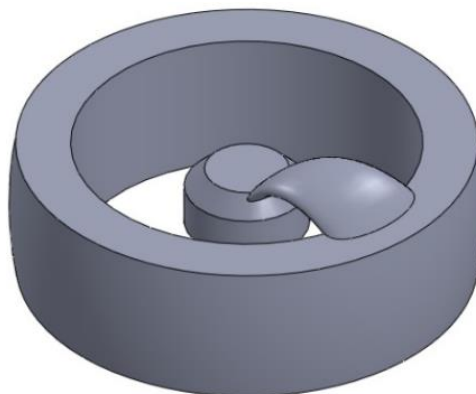


Рисунок 6.41 – Модель після створення елемента "по перетинам"



13. Прийміть інші параметри за замовчуванням і натисніть **ОК** у вікні **PropertyManager**; елемент "по перетинам" буде створено. Потім приховуйте опорні площини для кращої наочності. На рисунку 6.41 показано модель після приховування опорних площин і створення елемента "по перетинам".

### Створення шаблону елемента "по перетинам"

Після створення елемента "по перетинам" потрібно створити його шаблон за допомогою інструмента **Circular Pattern** (Круговий шаблон).

1. Оберіть кнопку **Circular Pattern** у меню **Linear Pattern** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Circular Pattern PropertyManager**.

2. Виберіть елемент "по перетинам" у графічній зоні як елемент для створення шаблону або в дереві побудови **FeatureManager Design Tree**; назва елемента "по перетинам" з'явиться у вікні вибору **Features to Pattern** у секції **Features to Pattern rollout** у вікні **PropertyManager**.

3. Клацніть на область вибору **Pattern Axis** (Вісь шаблону) у секції **Parameters rollout** у вікні **PropertyManager**, щоб активувати її, а потім виберіть кругове ребро базового елемента; у графічній зоні з'явиться попередній вигляд кругового шаблону елемента "по перетинам".

4. Установіть значення кількості екземплярів (**Number of Instances**) на 3 і переконайтеся, що прапорець **Equal spacing** у секції **Parameters rollout** вибрано.

5. Натисніть кнопку **ОК** у вікні **PropertyManager**; елемент "по перетинам" буде розташовано за круговим шаблоном. На рисунку 6.42 показано ізометричний вигляд фінальної моделі після створення шаблону елемента "по перетинам".

### Збереження моделі

1. Збережіть модель давши їй назву у будь-якій зручній для вас папці.
2. Оберіть команду **File > Close** у меню **SOLIDWORKS**, щоб закрити файл.

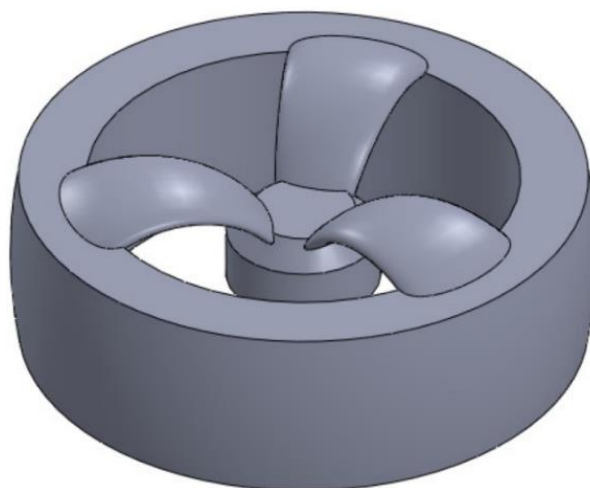


Рисунок 6.42 – Фінальна модель для Практичного завдання 5

### **Завдання 6**

У цьому завданні розглянуто створення моделі, що представлена на рисунку 6.43. Розміри моделі наведені на рисунку 6.44.

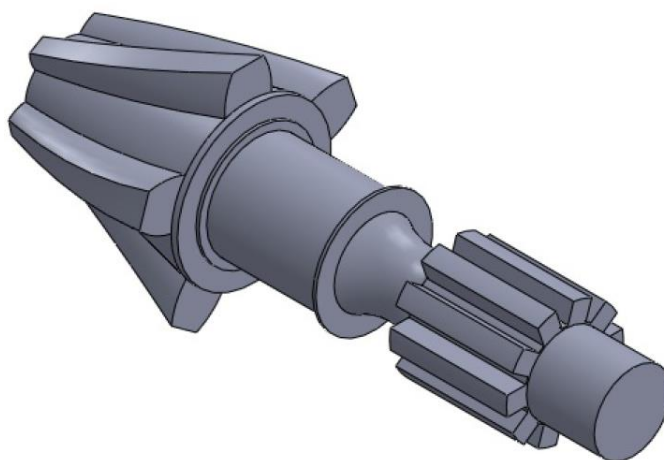


Рисунок 6.43 – Модель для Завдання 6

**Для виконання цього завдання необхідно виконати наступні кроки:**

- а) Створіть елемент обертання як базовий елемент моделі (див. рисунки 6.45 і 6.46).
- б) Створіть елемент вирізу (рис. 6.49).
- в) Створіть круговий шаблон елемента вирізу (рис. 6.50).
- г) Створіть елемент "по перетинам" (див. рисунки 6.51 – 6.57).
- д) Збережіть модель.

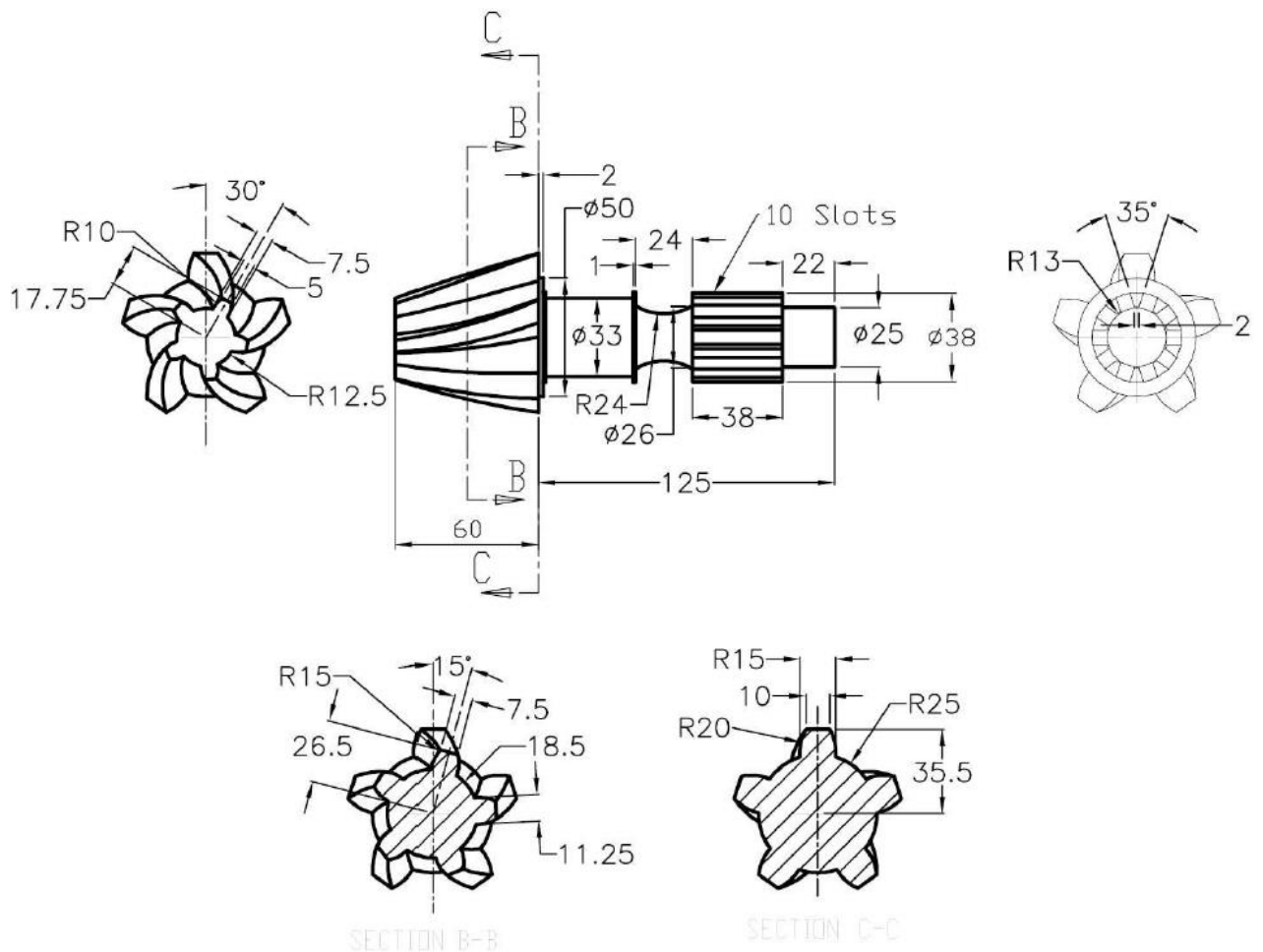


Рисунок 6.44 – Вигляди та розміри моделі для Завдання 6

### Створення базового елемента

Базовим елементом моделі є елемент обертання.

1. Створіть новий документ деталі в SOLIDWORKS і увійдіть у середовище ескізу, обравши площину **Front Plane** як площину для ескізу.
2. Нарисуйте ескіз для елемента обертання, як показано на рисунку 6.45.

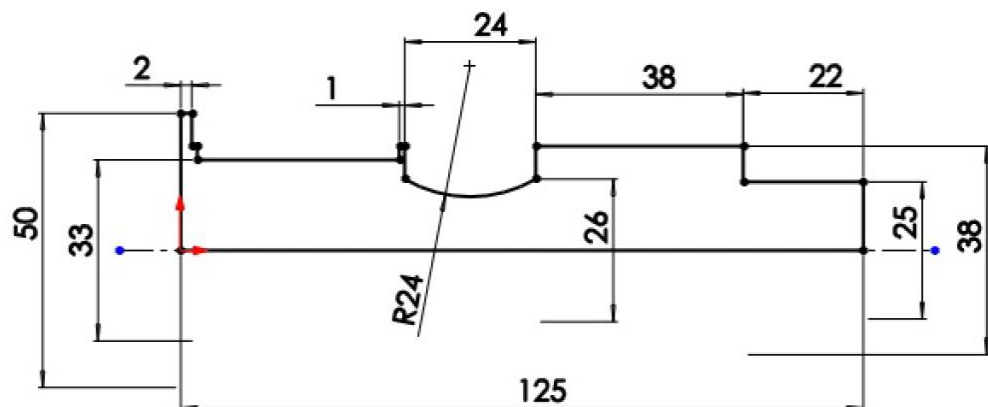


Рисунок 6.45 – Ескіз для елемента обертання

3. Оберіть кнопку **Revolved Boss/Base** (Обертання тіла) на панелі **Features CommandManager**; ескіз автоматично орієнтується у триметричному вигляді, і відкривається вікно **Revolve PropertyManager**. У графічній зоні також відобразиться попередній вигляд елемента обертання.

Оскільки ескіз містить лише одну осьову лінію, SOLIDWORKS автоматично вибирає її як вісь обертання. У результаті попередній вигляд елемента відображається у графічній зоні.

4. Переконайтеся, що у випадаючому списку **Revolve Type** (Тип обертання) вибрано параметр **Blind**, а у полі **Direction 1 Angle** встановлено значення 360°.

5. Натисніть кнопку **OK** у вікні PropertyManager; елемент обертання буде створено, як показано на рисунку 6.46.

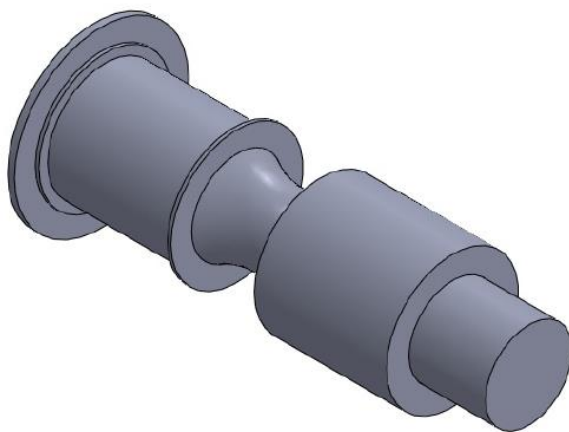


Рисунок 6.46 – Модель після створення елемента обертання

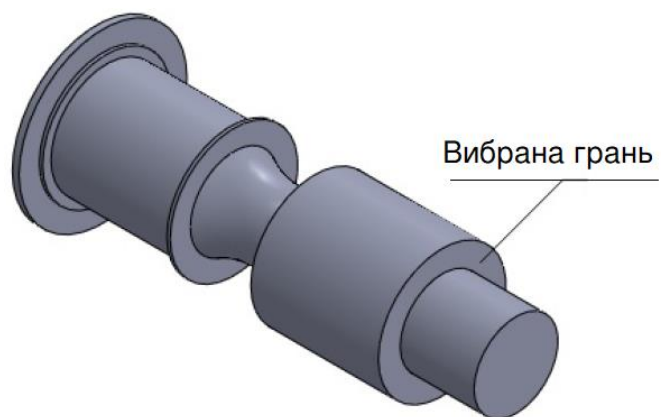


Рисунок 6.47 – Грань, вибрана як площина для ескізу

### Створення елемента вирізу

Другим елементом моделі є виріз, створений за допомогою інструмента **Extruded Cut** (Виріз видавлюванням).

1. Увійдіть у середовище ескізу, обравши грань моделі як площину для ескізу (рис. 6.47).

2. Нарисуйте ескіз для елемента вирізу, як показано на рисунку 6.48, і вийдіть із середовища ескізу.

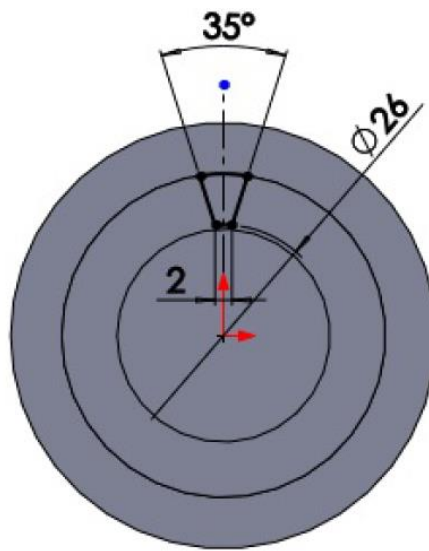


Рисунок 6.48 – Ескіз для елемента вирізу

3. Викличте інструмент **Extruded Cut** і задайте виріз до наступної поверхні, яка перетинає елемент, за допомогою параметра **Up To Next**. Ізометричний вигляд моделі після створення вирізу показано на рисунку 6.49.

Після створення вирізу потрібно створити його шаблон (масив) за допомогою інструмента **Circular Pattern**.

4. Викличте інструмент **Circular Pattern** і створіть круговий шаблон для елемента вирізу, задавши 10 екземплярів. Модель після створення кругового шаблону показано на рисунку 6.50.

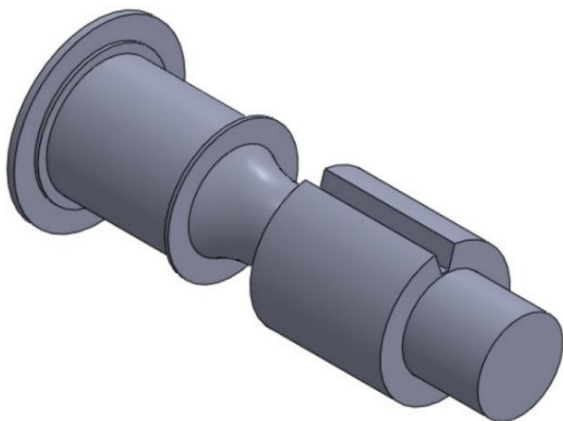


Рисунок 6.49 – Модель після створення елемента вирізу

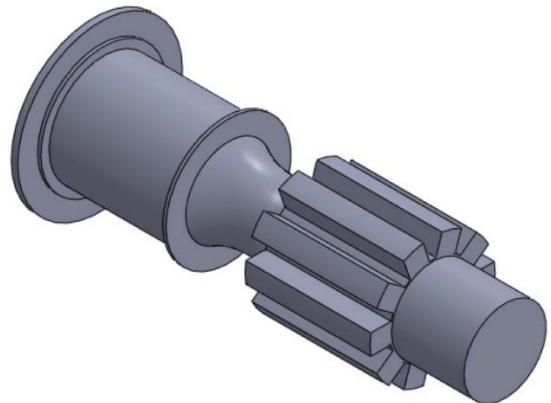


Рисунок 6.50 – Модель після створення кругового шаблону елемента вирізу

## Створення елемента "по перетинам"

Наступним елементом моделі є елемент "по перетинам", створений за допомогою інструмента **Lofted Boss/Base**. Як зазначалося раніше, елементи "по перетинам" створюються шляхом об'єднання більш ніж одного подібного або різного перетину (профілю) для отримання форми довільної геометрії. У цьому завданні необхідно створити елемент "по перетинам", об'єднавши три перетини.

1. Увійдіть у середовище ескізу, обравши задню площину базового елемента як площину для ескізу (див. рисунок 6.51).

2. Нарисуйте ескіз першого перетину (профілю) для елемента "по перетинам", як показано на рисунку 6.52. Потім вийдіть із середовища ескізу.

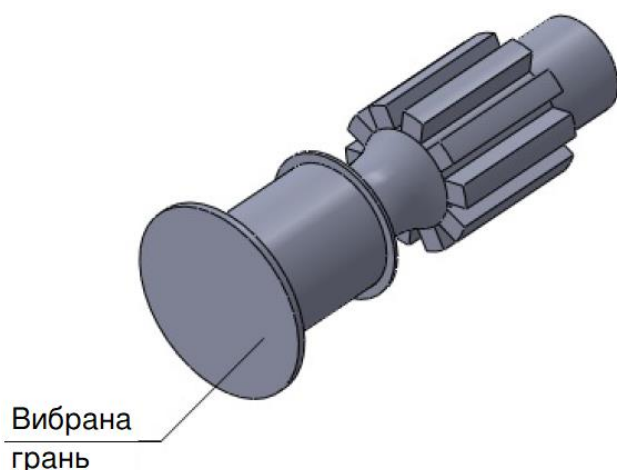


Рисунок 6.51 – Площина для ескізу

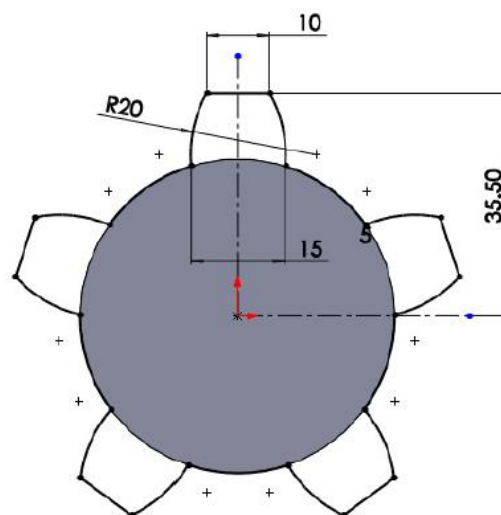


Рисунок 6.52 – Перший профіль для елемента "по перетинам"

Як видно з рисунка 6.44, відстань між першим і другим перетином елемента "по перетинам" дорівнює 30 мм. Тому для створення другого перетину потрібно спочатку створити опорну площину на відстані 30 мм від задньої площини базового елемента.

3. Створіть опорну площину на відстані 30 мм від задньої площини базового елемента. На рисунку 6.53 показано модель після створення опорної площини.

4. Увійдіть у середовище ескізу, обравши новостворену площину як площину для ескізу, і нарисуйте ескіз другого перетину для елемента "по перетинам", як показано на рисунку 6.54.

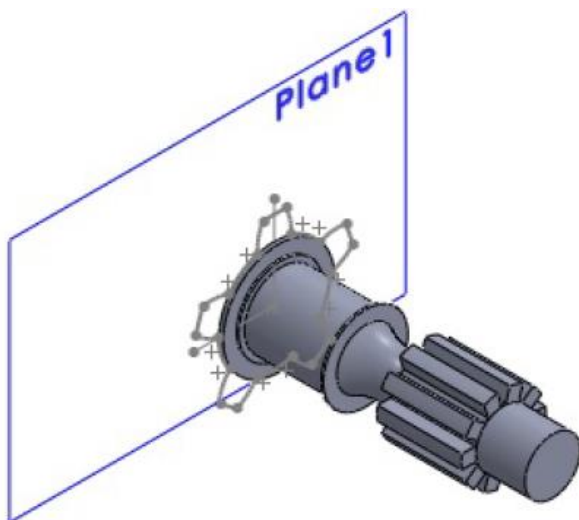


Рисунок 6.53 – Опорна площина, створена з відступом (Offset)

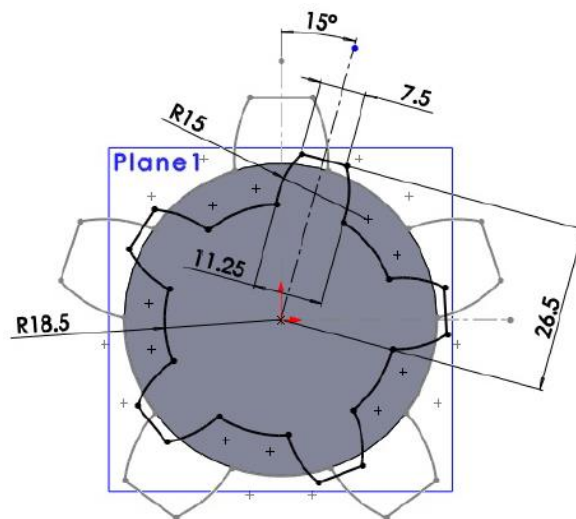


Рисунок 6.54 – Другий профіль для елемента "по перетинам"

### **Порада**

*Ви можете використовувати інструменти **Convert Entities** (Перетворення об'єктів), **Rotate** (Обертання) та **Scale** (Масштабування), щоб створити ескіз. Значення масштабу для ескізу буде 0.75. Після створення ескізу необхідно задати потрібні розміри та відношення, щоб зробити ескіз повністю визначеним.*

Тепер потрібно створити опорну площину на відстані 60 мм від задньої площини базового елемента для створення третього перетину елемента "по перетинам".

5. Створіть опорну площину на відстані 60 мм від задньої площини базового елемента.

6. Увійдіть у середовище ескізу, обравши новостворену площину як площину для ескізу, і нарисуйте ескіз третього перетину елемента "по перетинам", як показано на рисунку 6.55.



Після створення перетинів (профілів) потрібно створити елемент "по перетинам", об'єднавши всі перетини за допомогою інструмента **Lofted Boss/Base**.

7. Оберіть кнопку **Lofted Boss/Base** на панелі **Features CommandManager**; відкриється вікно **Loft PropertyManager**. Програма також запропонує вибрати щонайменше два профілі.

8. Виберіть перетини в графічній зоні один за одним; у графічній зоні відобразиться попередній вигляд елемента "по перетинам" із маркером з'єднувача, як показано на рисунку 6.56. Назви вибраних перетинів або профілів також відобразяться у вікні вибору **Profiles** у секції **Profiles rollout** у вікні **Loft PropertyManager**.

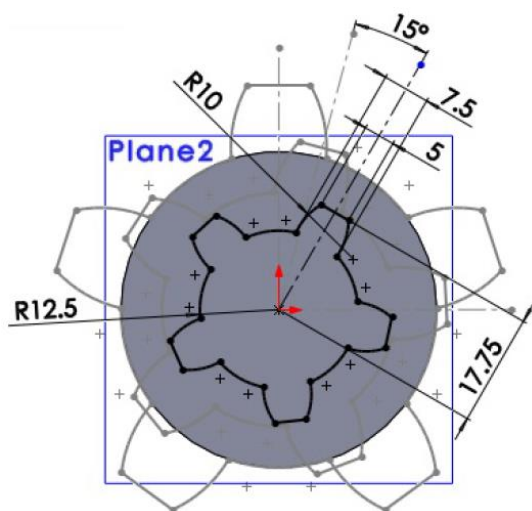


Рисунок 6.55 – Третій перетин (профіль) елемента "по перетинам"

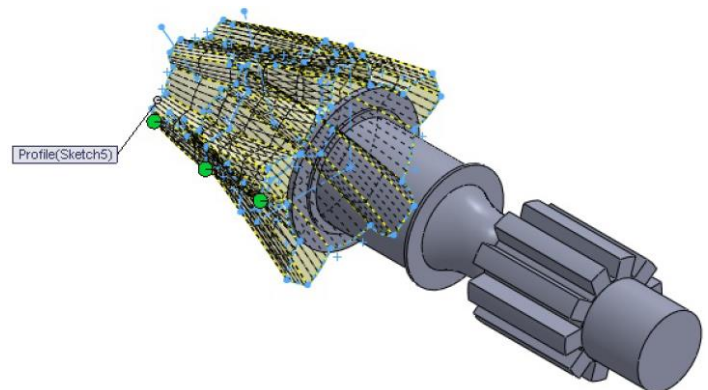


Рисунок 6.56 – Попередній вигляд елемента "по перетинам"

Також можна створити тонкостінний елемент "по перетинам", задавши параметри тонкостінності у секції **Thin Feature** у вікні **PropertyManager**.

9. Прийміть інші параметри за замовчуванням і натисніть **OK** у вікні **PropertyManager**; елемент "по перетинам" буде створено. На рисунку 6.57 показано модель після приховування опорних площин і створення елемента "по перетинам".



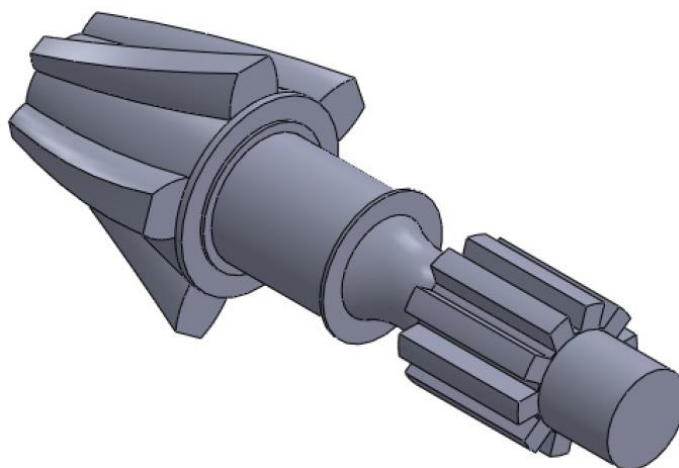


Рисунок 6.57 – Фінальна модель для Завдання 6

### Збереження моделі

1. Збережіть модель давши їй назву у будь-якій зручній для вас папці.
2. Оберіть команду **File > Close** у меню SOLIDWORKS, щоб закрити файл.

### Питання для самоконтролю

1. Що означає параметр Thickness в інструменті Shell, і як він впливає на модель?
2. Як створити круговий масив отворів, використовуючи інструмент Circular Pattern?
3. Що таке траєкторія та профіль у контексті інструмента Swept Boss/Base?
4. Для яких випадків доцільно використовувати опцію Thin Feature в інструменті Swept Boss/Base?
5. Як працює інструмент Lofted Boss/Base, і які типи перетинів можуть бути використані для створення елемента?
6. Які основні вимоги до створення перетинів для елемента Lofted Boss/Base?
7. Як створити тривимірну траєкторію для елемента протяжки за допомогою інструмента Project Curve?
8. Що означає параметр Equal spacing в інструменті Circular Pattern, і як він впливає на шаблон?

9. Для яких випадків слід змінювати параметри Start/End Tangency в інструменті Swept Boss/Base?

10. Які переваги використання тонкостінних елементів у моделюванні складних конструкцій?

### Практичне завдання 1

Створіть модель Корпусу, як показано на рисунк 6.58. Розміри моделі представлено на рисунку 6.59

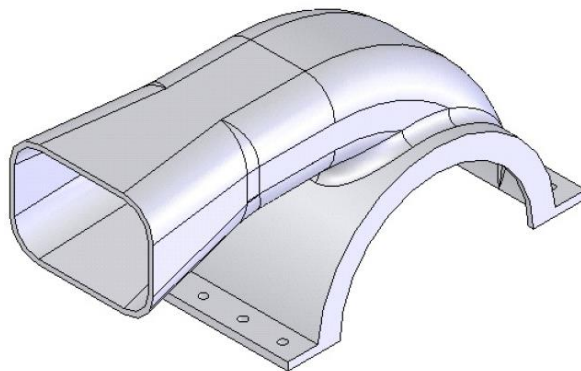


Рисунок 6.58 – Модель корпусу для Практичного завдання 1

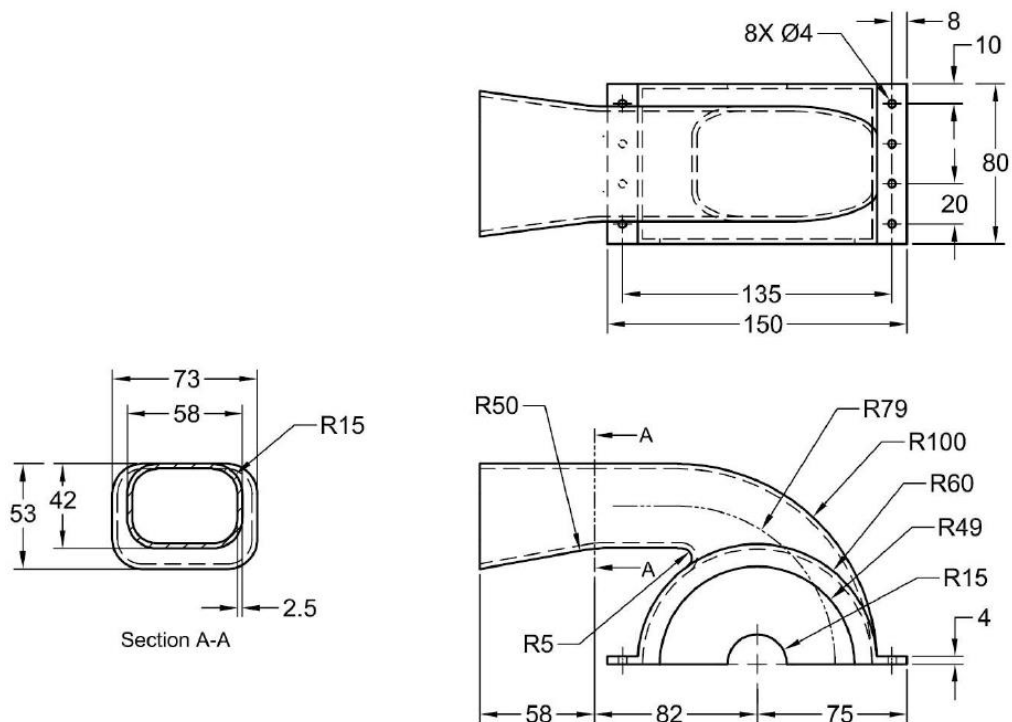


Рисунок 6.59 – Види та розміри для Практичного завдання 1

### **Порада**

Ця модель розділена на три основні частини:

1. Основа – створюється за допомогою витягування ескізу на відстань 80 мм з використанням опції **Mid Plane**.

2. Права частина вихідного сопла – створюється за допомогою функції **Sweep**.

3. Ліва частина вихідного сопла – створюється за допомогою функції **Loft**.

Для створення **Loft**:

- Перший переріз створюється на площині, яка збігається з площиною функції **Sweep**, створеної раніше.

- Другий переріз створюється на площині, зміщеній від першої площини на задану відстань.

- Використовуйте обидва перерізи для створення функції **Loft**.

Для завершення моделі додайте заокруглення, отвори, масиви тощо.

### **Практичне завдання 2**

Створіть модель, показану на рисунку 6.60. Розміри моделі наведені на рисунку 6.61.

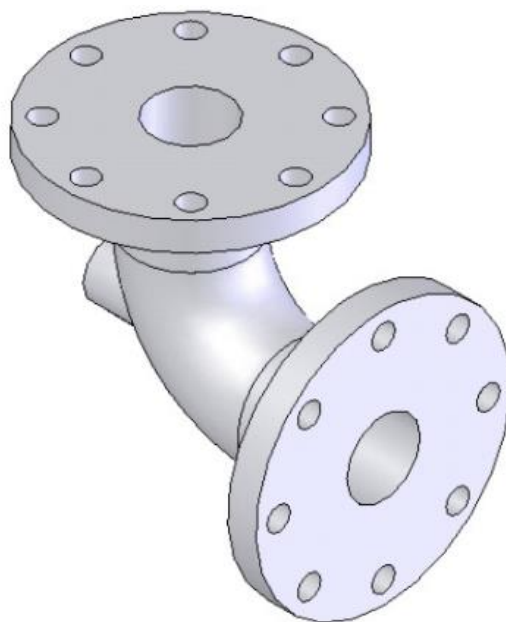


Рисунок 6.60 – Тривимірна модель для Практичного завдання 2

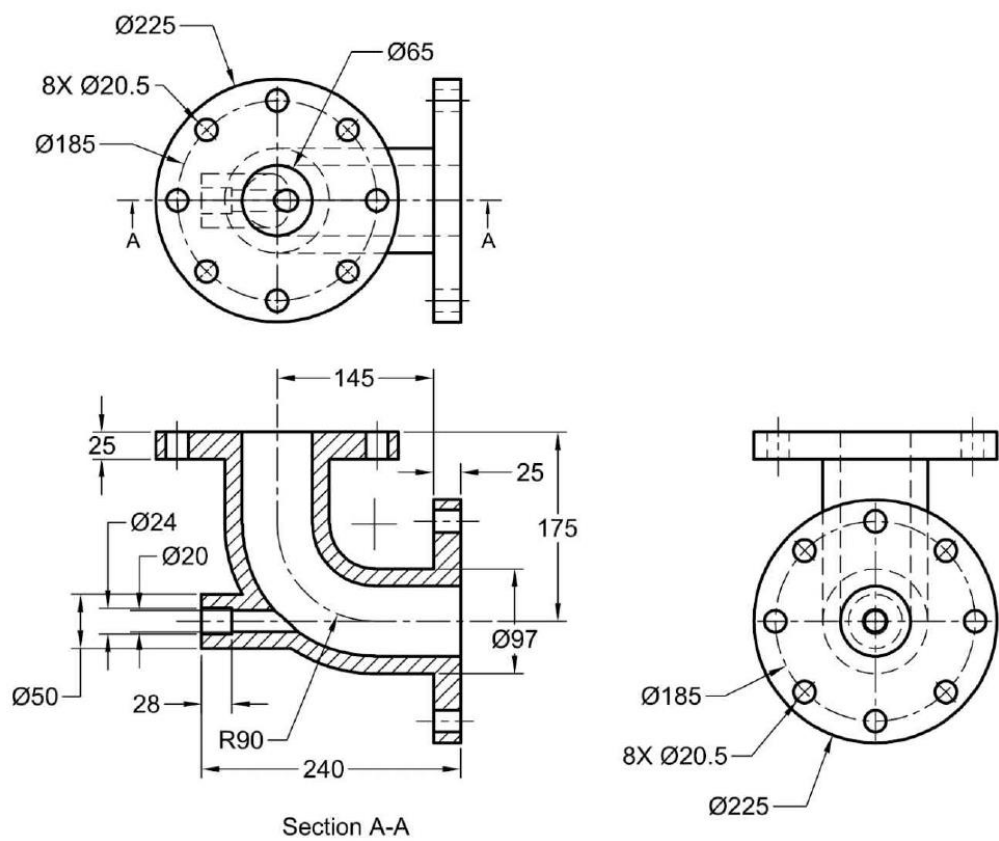


Рисунок 6.61 – Види та розміри моделі для Практичного завдання 2

## **7 ПОБУДОВА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ГІДРОТУРБІН**

У сучасному інженерному проектуванні програми автоматизованого проектування (CAD) стали невід'ємною частиною розробки складних технічних об'єктів. Серед широкого спектру доступних CAD-програм, таких як SolidWorks, Autodesk Inventor, Siemens NX та CATIA, кожна має свої переваги й інструменти, які можуть бути ефективно використані для вирішення конкретних задач. Особливу роль ці програми відіграють у проектуванні елементів проточних частин гідротурбін, де необхідно враховувати складну геометрію та динамічні характеристики потоку.

SolidWorks, як одна з найбільш поширених CAD-програм, пропонує потужний інструментарій для моделювання, параметризації та аналізу тривимірних моделей. Інтуїтивний інтерфейс, підтримка параметричних моделей і широкий набір інструментів для поверхневого та твердотілого моделювання роблять цю програму ідеальним вибором для проектування елементів проточної частини. Інші програми, такі як Autodesk Inventor, також здатні виконувати подібні завдання, однак у даному розділі ми зосередимося саме на застосуванні SolidWorks.

У цьому розділі посібника розглядається процес побудови основних елементів проточної частини гідротурбіни, зокрема спіральної камери, лопатей робочого колеса та відсмоктуючої труби. Будуть детально описані підходи до моделювання, використання основних інструментів SolidWorks, які розглядалися у попередніх розділах.

Таким чином, цей розділ має на меті продемонструвати, як за допомогою сучасного CAD-інструментарію можна створити високоякісні тривимірні моделі, що відповідають вимогам сучасного гідроенергетичного проектування.

### 7.1 Побудова тривимірної моделі спіральної камери гідротурбіни

Спіральна камера (СК) призначена для підведення води до гідротурбіни та формування потоку на вході в напрямний апарат. Вона має забезпечити:

- рівномірне підведення води до направляючого апарату при максимально можливої осьової симетрії потоку;
- допустимі величини швидкостей та улову атаки на вході в статор і направляючий апарат при різних його відкриттях, при яких втрати енергії в спіральній камері і, головним чином, у напрямному апараті мінімальні;
- величину циркуляції близьку до розрахункової.

Гідромеханічний розрахунок спіральної камери полягає у визначенні поперечних перерізів та їх кутового розташування у плані.

Основні припущення, що приймаються при розрахунку:

- потік, що встановився і осесиметричний;
- рівномірний розподіл втрат у каналах статора та напрямного апарату.

Ця умова відображається виразом  $v_r = \frac{Q_p}{2\pi R_i b_0}$ ;

- Витрата через будь-який і-ий розрахунковий радіальний переріз, який розташований під кутом  $\varphi_i$  визначається залежністю:  $Q_i = \frac{Q_p \varphi_i}{2\pi}$ ;

- розрахункова витрата через гідротурбіну визначається за заданим значенням номінальної потужності турбіни  $N_p$  при її розрахунковому напорі:

$$Q_p = \frac{N_p}{9,81 \cdot H_p \cdot \eta_n};$$

- потік у спіральній камері потенційний, що характеризується сталістю моменту швидкості  $v_u r = const$  вздовж спірального каналу.
- спіральна камера формує осесиметричний потік на вході в статор і направляючий апарат та забезпечує однаковий напрямок потоку на всіх режимах ( $\delta = const$ ).

Конструктивно СК має форму спіралі (рис. 7.1), звужуючись до кінця, що дозволяє підтримувати постійний швидкісний режим води по всій

довжині. Це необхідно для рівномірного навантаження на лопаті турбіни, що збільшує ефективність роботи гідроагрегату та знижує зношування компонентів.

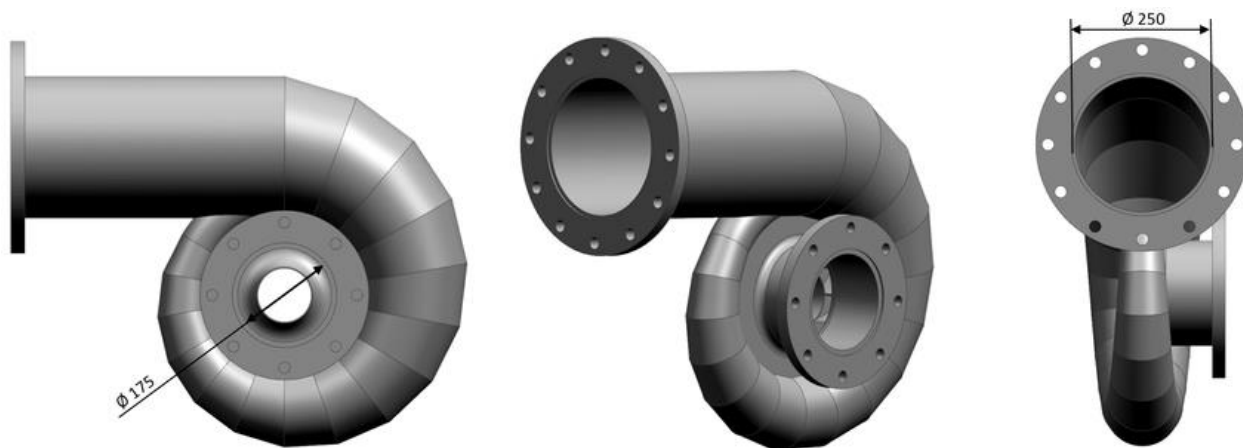


Рисунок 7.1 – Спіральна камера гідротурбіни

Спіральна камера виготовляється з міцних матеріалів, таких як сталь або залізобетон, здатних витримувати значні тиски та гідравлічні навантаження.

Правильно спроектована спіральна камера забезпечує високий коефіцієнт корисної дії гідротурбіни, що має вирішальне значення для ефективної роботи гідроелектростанцій.

В даному розділі розглянуто побудову спіральної камери для вертикальної осьової гідротурбіни ПЛ 20 на прикладі бетонної спіральної камери трапецеїдальної форми СУБ – 0,375-2250/31045', яка застосовується для даного типу гідравлічних турбін. Всі геометричні розміри спіральної камери та її розрахункових перетинів беруться із ДСТУ для спіральних камер гідротурбін.

Згідно рекомендацій для даного типу гідротурбіни застосовується бетонна спіральна камера з трапецієподібною формою поперечних перерізів.

На рисунку 7.2 представлені геометричні співвідношення перерізів спіральної камери трапецеїдального перерізу.

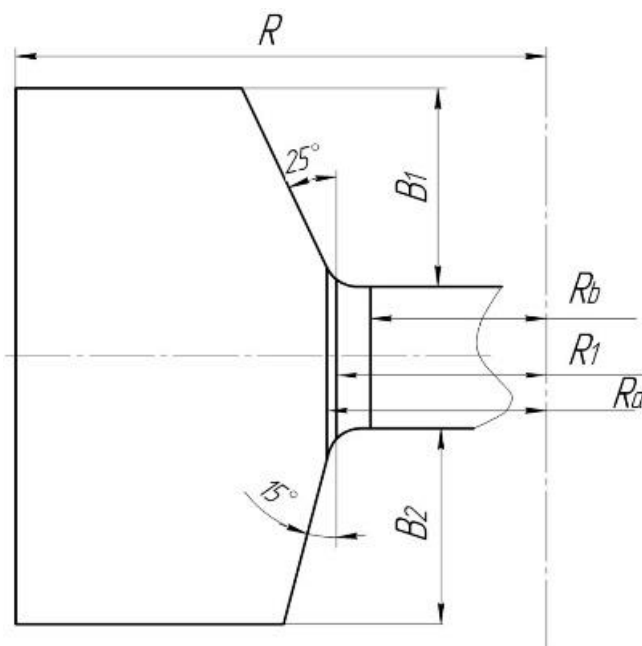


Рисунок 7.2 – Геометричні співвідношення перерізів спіральної камери

В таблиці 7.1 приведено всі необхідні розміри розрахункових перетинів даної спіральної камери.

Таблиця 7.1 – Геометричні співвідношення розрахункових перерізів

| №<br>перерізу | $\varphi, ^\circ$ | R, м | $b_1 = b_2, \text{ м}$ | $F, \text{ м}^2$ |
|---------------|-------------------|------|------------------------|------------------|
| 1             | 2                 | 3    | 4                      | 5                |
| 1             | 0                 | 8,33 | 2,99                   | 59,02            |
| 2             | 15                | 8,1  | 2,83                   | 53,78            |
| 3             | 30                | 7,86 | 2,66                   | 48,63            |
| 4             | 45                | 7,61 | 2,48                   | 43,64            |
| 5             | 60                | 7,36 | 2,27                   | 38,77            |
| 6             | 75                | 7,14 | 2,12                   | 34,059           |
| 7             | 90                | 6,83 | 1,93                   | 29,48            |
| 8             | 105               | 6,54 | 1,728                  | 25,07            |
| 9             | 120               | 6,24 | 1,52                   | 20,83            |
| 10            | 135               | 5,97 | 1,29                   | 16,75            |
| 11            | 150               | 5,58 | 1,05                   | 12,86            |
| 12            | 165               | 5,21 | 0,779                  | 9,2              |
| 13            | 180               | 4,75 | 0,515                  | 5,77             |
| 14            | 195               | 4,24 | 0,467                  | 3,01             |



За табличними значеннями (табл. 7.1) будуємо просторову 3D модель спіральної камери у програмному комплексі SolidWorks.

### 7.1.1 Послідовність побудови тривимірної моделі спіральної камери

#### 1. Створення розрахункових площин спіральної камери.

Будуємо розрахункові площини, на яких будуть створюватися ескізи розрахункових перерізів спіральної камери (рис. 7.3).

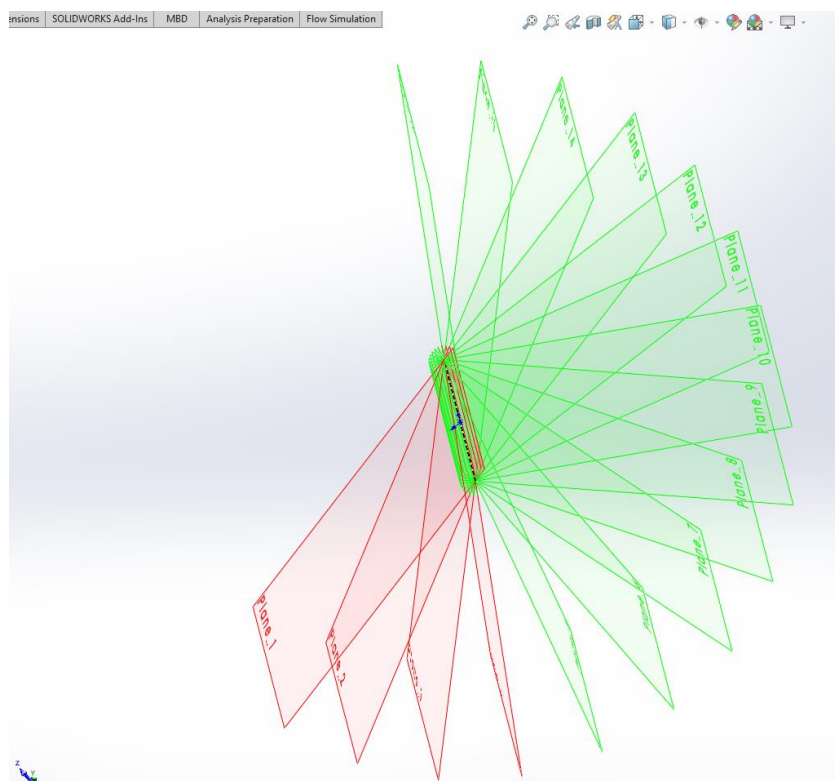


Рисунок 7.3 – Побудова розрахункових площин

#### 2. Побудова ескізів поперечних перетинів спіральної камери

У кожній із розрахункових площин будуємо ескіз, що відповідає поперечному перерізу спіральної камери, виходячи з розмірів, наведених у таблиці 7.1 (рис. 7.4).

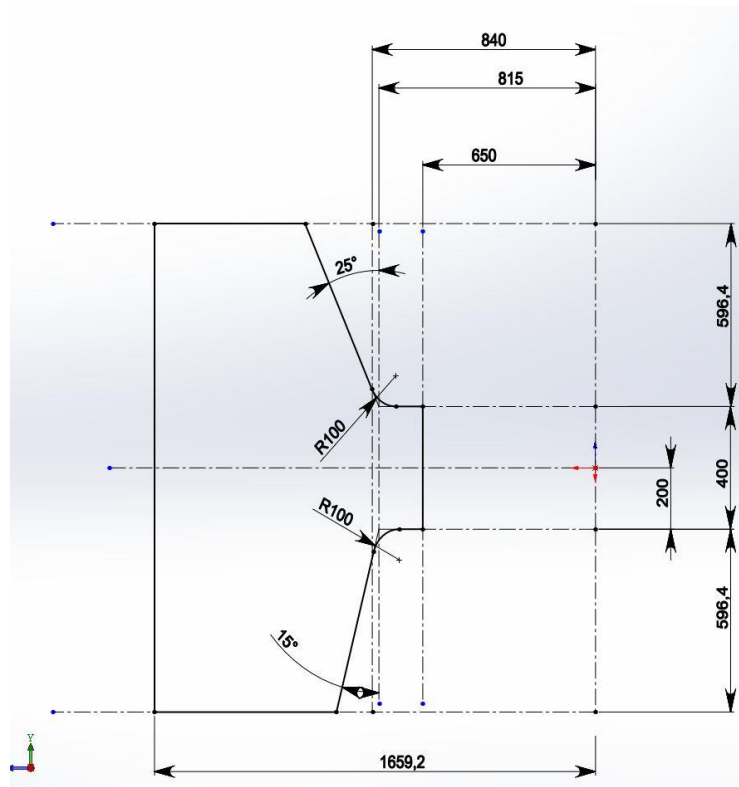


Рисунок 7.4 – Ескіз розрахункового поперечного перерізу спіральної камери

### 3. Побудова спіральної частини камери

За допомогою команди **Lofted Boss/Base** (Тіло по перерізам) будуємо спіральну частину камери, об'єднуючи створені ескізи в одне тверде тіло (рис. 7.5)

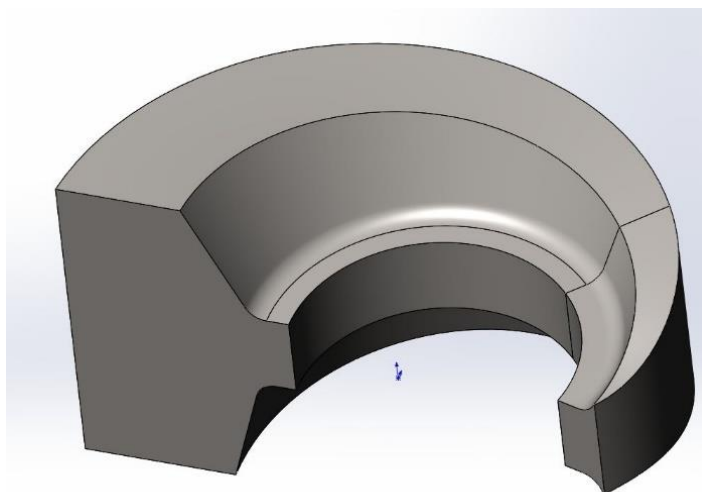


Рисунок 7.5 – Спіральна частина камери

#### 4. Побудова відкритої частини та повної геометрії спіральної камери

Далі, використовуючи команди **Lofted Boss/Base**, **Extruded Boss/Base**, а також застосовуючи додаткові допоміжні криві (**Guide Curves**), будуємо відкриту частину спіральної камери, а також частину спіралі, що примикає до зуба.

Також необхідно застосувати команду **Extruded Cut** (Витягнутий виріз), щоб обрізати зайві частини, та отримати фінальні обриси геометрії спіральної камери.

У результаті одержуємо твердотільну модель спіральної камери (рис. 7.6; 7.7)

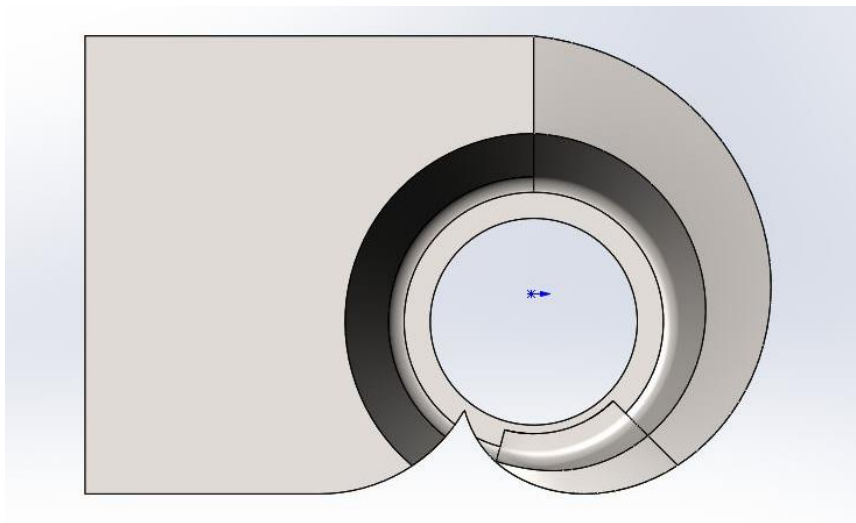


Рисунок 7.6 – Твердотільна 3D модель спіральної камери (вид зверху)

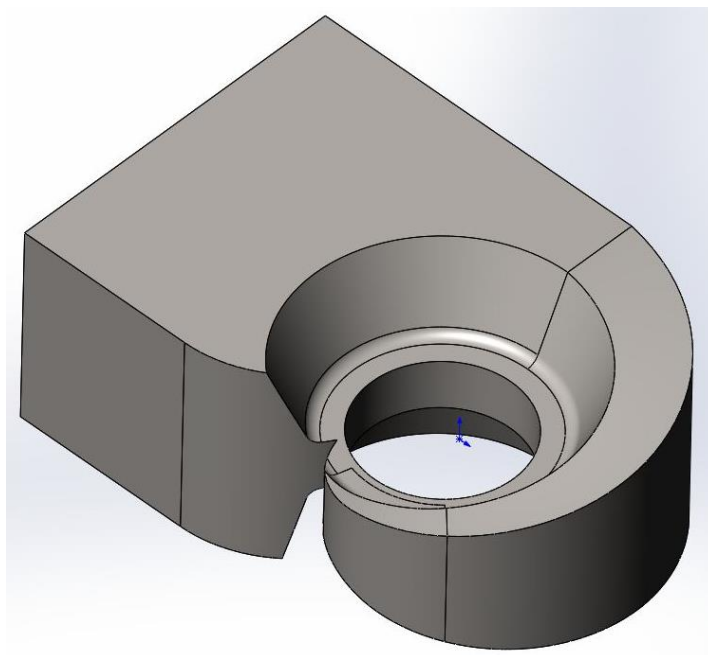


Рисунок 7.7 – Твердотільна 3D модель спіральної камери (ізометрія)

## 5. Побудова опорного бичка та колон статора

На останньому етапі побудови, використовуючи команду **Extruded Cut**, отримуємо опорний бичок, колони статора. Геометричні розміри колон статора та опорного бичка також беруться із ДСТУ для вибраного типу спіральної камери (рис. 7.8).

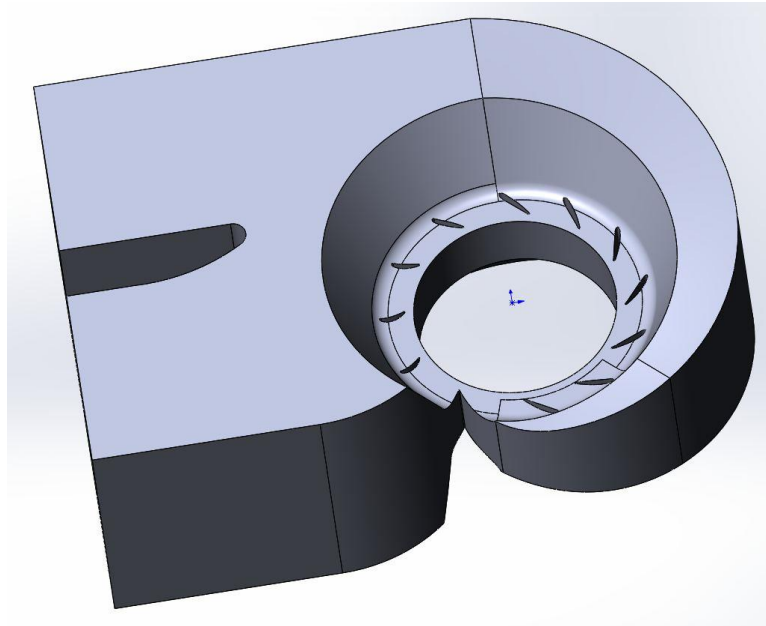


Рисунок 7.8 – Твердотільна 3D модель спіральної камери з колонами статора та опорним бичком

### 7.2 Побудова тривимірної моделі робочого колеса гідротурбіни

Профілювання лопаті робочого колеса гідротурбіни ПЛ 20 виконується методом розподілених вихорів.

В результаті розрахунку отримуємо координати  $X$  та  $Y$  нескінченно тонких профілів.

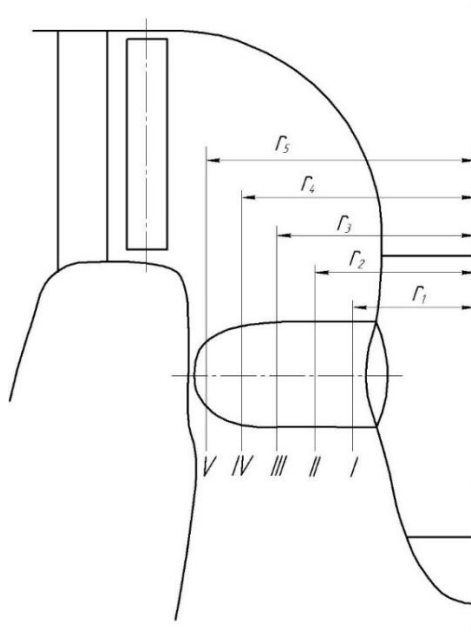
Побудову профілів кінцевої товщини виконують нерозрахунковим шляхом, використовуючи задану максимальну товщину профілю  $\delta_{\max}$  і закон розподілу товщин одного з гідравлічних профілів, що має високі енергетичні та кавітаційні характеристики.

Розглянемо побудову тривимірної моделі лопаті робочого колеса для осьової поворотно-лопатевої гідротурбіни ПЛ20.

## 7.2.1 Послідовність побудови тривимірної моделі лопаті робочого колеса

### 1. Створення розрахункових площин спіральної камери

Будуємо розрахункові площини, на яких далі необхідно буде створити ескізи відповідних перерізів лопаті робочого колеса (рис. 7.10). Відстань між площинами розраховується за виразами, приведеними на рисунку 7.9



$$r_1 = \frac{d_{\text{ВТ}}}{2} + 0,015,$$

$$r_5 = \frac{D_1}{2} - 0,01,$$

$$r_3 = \frac{r_1 + r_5}{2},$$

$$r_2 = \frac{r_1 + r_3}{2},$$

$$r_4 = \frac{r_3 + r_5}{2}.$$

Рисунок 7.9 – Розрахункові перетини лопаті

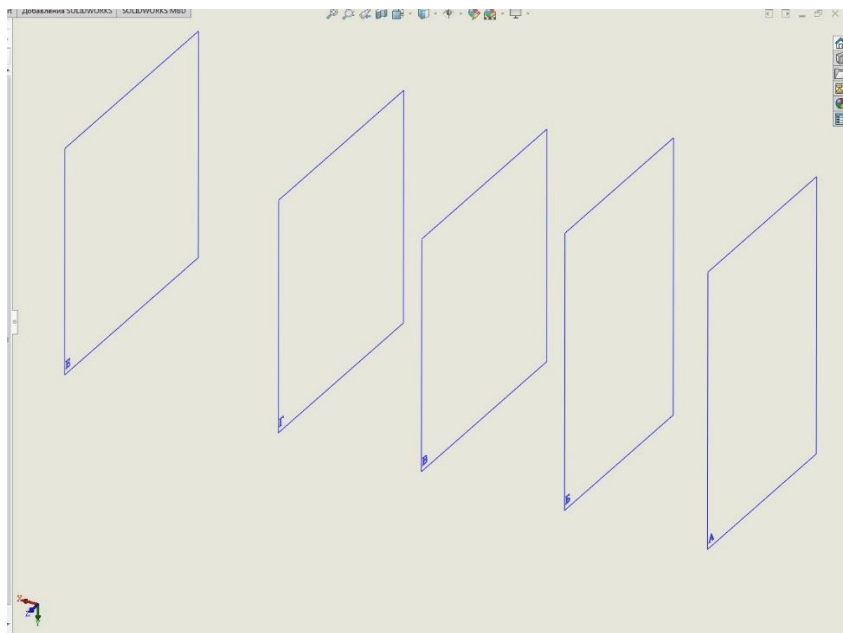


Рисунок 7.10 – Площини для побудови ескізів перетинів лопаті

## 2. Створення розрахункових ескізів

У кожній із розрахункових площин будуємо ескіз, що відповідає розрахунковому профілю лопаті (рис. 7.11). Геометричні розміри усіх розрахункових профілів відомі з попереднього розрахунку лопатевої системи за методом розподілених вихорів.

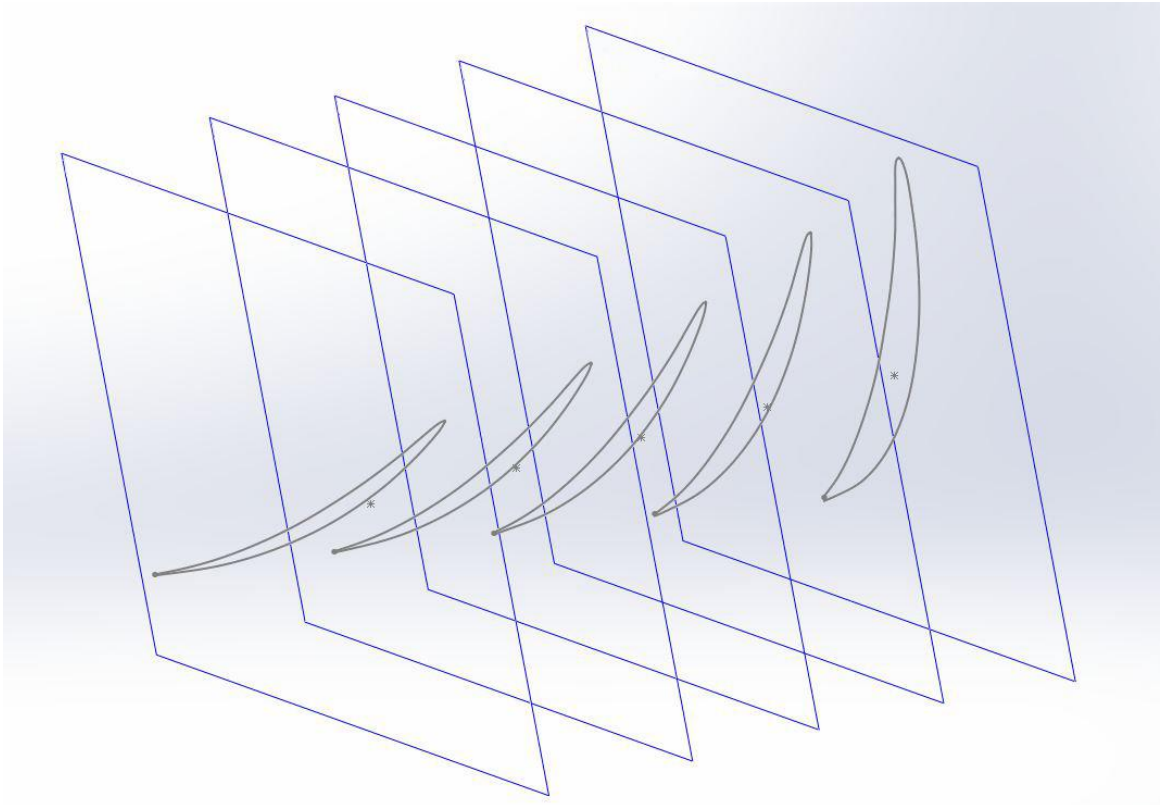


Рисунок 7.11 – Ескізи розрахункових профілів лопаті робочого колеса

## 3. Побудова просторових розрахункових профілів (поверхонь)

За допомогою команди **Wrap** (Розмістити) проектуємо плоскі розрахункові профілі на відповідні циліндричні поверхні. Далі за допомогою команди **Delete Face** (Видалити грань) видаляємо відповідні циліндричні грані поза розміщеними профілями. В результаті отримуємо просторові розрахункові перерізи лопаті робочого колеса (рис. 7.12).



Рисунок 7.12 – Просторові розрахункові перерізи

#### 4. Побудова лопаті по просторовим розрахунковим профілям (перерізам)

Використовуючи команду **Lofted Boss/Base** (Тіло по перерізам), а також застосовуючи додаткові допоміжні криві (**Guide Curves**), будуємо тривимірну модель лопаті (рис. 7.13).

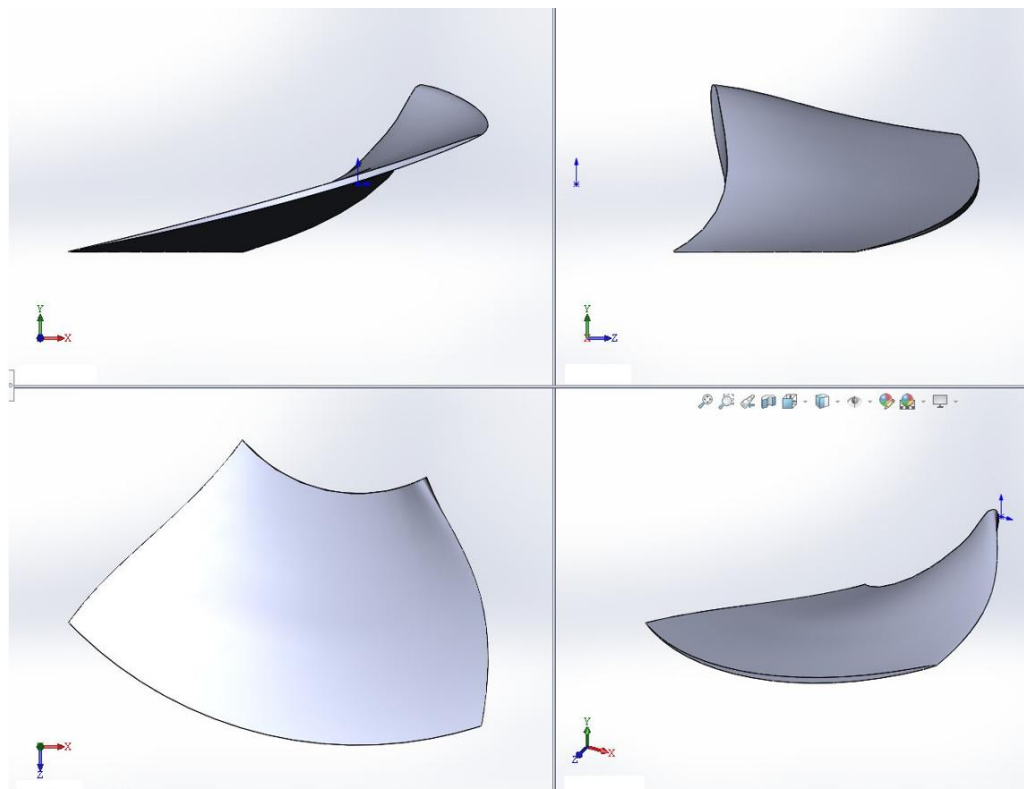


Рисунок 7.13 – 3D модель лопаті робочого колеса (чотири види)



## 5. Створення тривимірної моделі робочого колеса

На даному етапі побудови, використовуючи команду **Revolved Boss/Base** (Повернуте тіло) будуємо втулку та обтічник робочого колеса.

Геометричні розміри для побудови ескізів втулки та обтічника необхідно взяти з номенклатури гідравлічних турбін.

Далі, за допомогою команди **Circular Pattern** (Круговий масив елементів), задаючи значення числа лопатей  $z = 4$ , отримуємо тривимірну модель робочого колеса гідротурбіни ПЛ 20 (рис. 7.14).

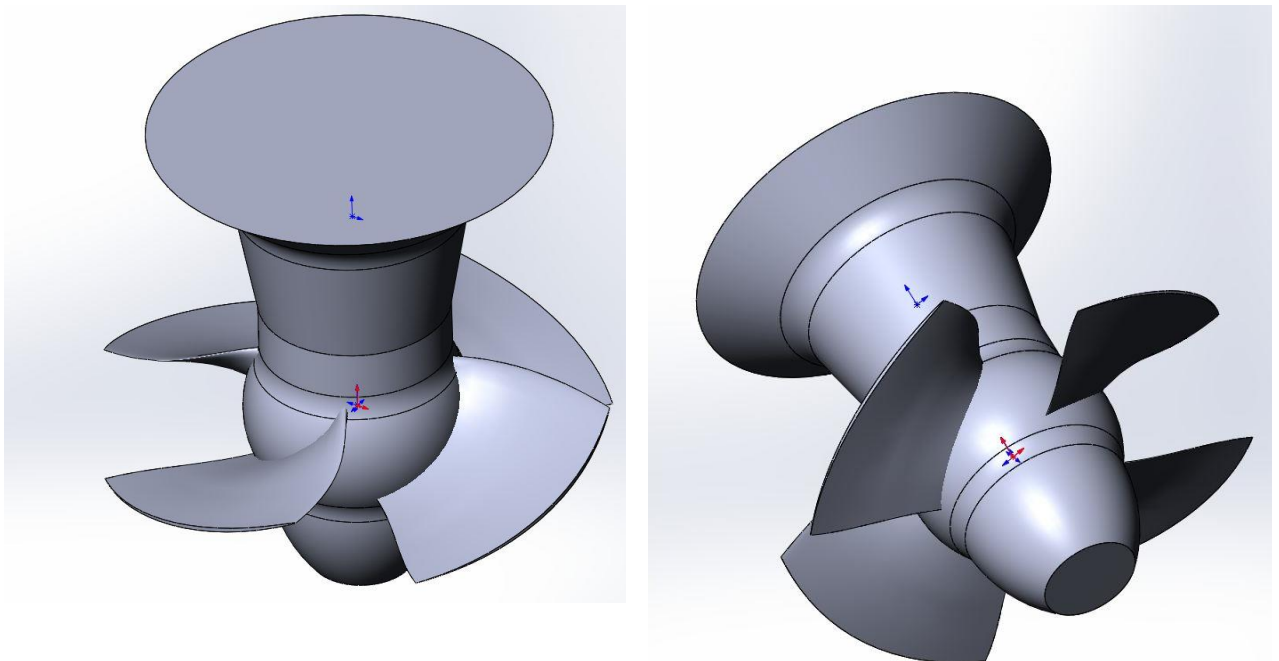


Рисунок 7.14 – Тривимірна модель робочого колеса гідротурбіни ПЛ 20(2 види)

### 7.3 Побудова тривимірної моделі відсмоктуючої труби гідротурбіни

Відсмоктуюча труба (ВТ) є важливим компонентом у проектуванні гідравлічних турбін, яка, перш за все, виконує функцію перетворення кінетичної енергії води, що виходить з турбіни, на енергію тиску. Розташована за робочим колесом, ВТ допомагає відновити частину енергії, що втрачається при виході потоку з турбіни, підвищуючи загальну ефективність гідроелектричної системи.



Створюючи поступово розширюваний канал, ВТ уповільнює потік води, що дозволяє забезпечити більш плавний перехід у вихідний дифузор і запобігти турбулентності, яка може призвести до втрат енергії (рис. 7.15).



Рисунок 7.15 – Реальний вигляд відсмоктуючої труби гідротурбіни

Існує кілька типів ВТ, кожен з яких призначений для задоволення різних експлуатаційних вимог та конфігурацій турбін. Найбільш поширеними типами є конічна ВТ, яка поступово розширюється в діаметрі; ВТ з коліном, яка має вигин для направлення потоку; та пряма ВТ, яка зберігає однаковий переріз. Кожен дизайн має свої переваги та специфічні застосування залежно від таких факторів, як тип турбіни, доступний напір і бажана ефективність.

Правильне проектування ВТ є дуже важливим для максимізації ефективності гідравлічних турбін. Неправильно спроектована ВТ може призвести до збільшення втрат тиску, турбулентності та кавітації, що може завдати шкоди турбіні та знизити її тривалість експлуатації.

Розглянемо створення тривимірної моделі відсмоктуючої труби для осьової вертикальної гідротурбіни ПЛ20.

Всі необхідні геометричні розміри ВТ, а також тип коліна необхідно взяти з ДСТУ для відсмоктуючих труб.

### 7.3.1 Послідовність побудови тривимірної моделі відсмоктуючої труби

#### 1. Побудова вхідного конусу відсмоктуючої труби

Використовуючи команду «**Revolved Boss/Base** (Повернуте тіло)» будуємо вхідний дифузор (конус) відсмоктуючої труби (рис. 7.16)



Рисунок 7.16 – Вхідний конус відсмоктуючої труби

#### 2. Створення вихідного дифузора відсмоктуючої труби

За допомогою команди **Lofted Boss/Base** (Тіло по перерізам) будуємо вихідний дифузор відсмоктуючої труби, об'єднуючи в одне загальне тіло два розрахункових профіля (вхідний прямокутник та вихідний прямокутник дифузора) (рис. 7.17).

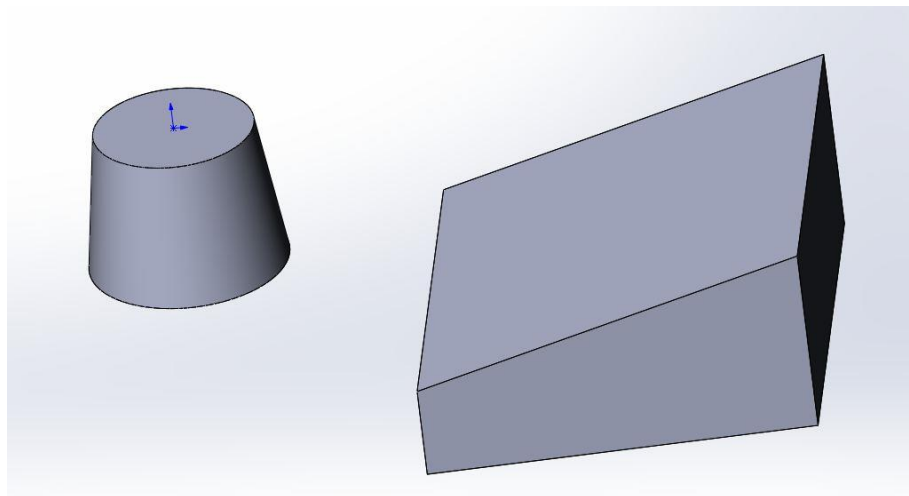


Рисунок 7.17 – Конус і вихідний дифузор відсмоктуючої труби

### 3. Побудова допоміжних тривимірних ескізів

За допомогою команди **3D Sketch** (Тривимірний ескіз) будуємо чотири допоміжні криві які з'єднують нижню грань вхідного конусу та вхідний прямокутник дифузору. При створенні даних ескізів необхідно дотримуватися правильності геометрії та контролювати їх розміщення в просторі (рис. 7.18).

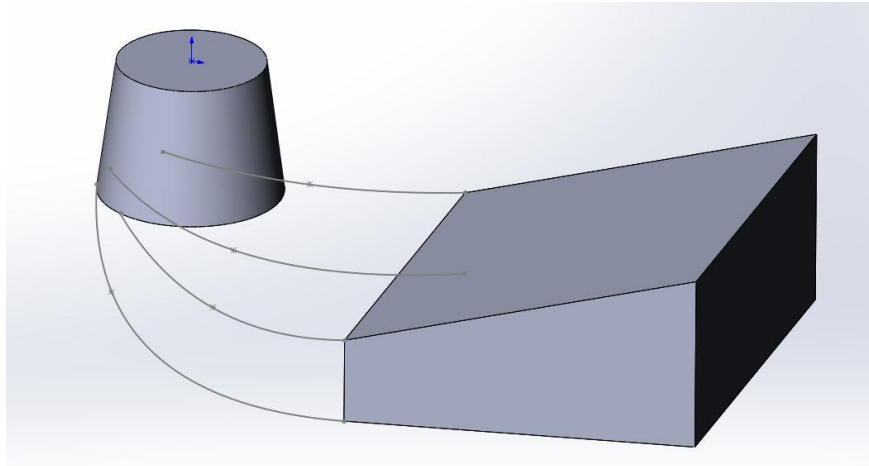


Рисунок 7.18 – Просторові допоміжні криві

### 4. Побудова повної геометрії відсмоктуючої труби

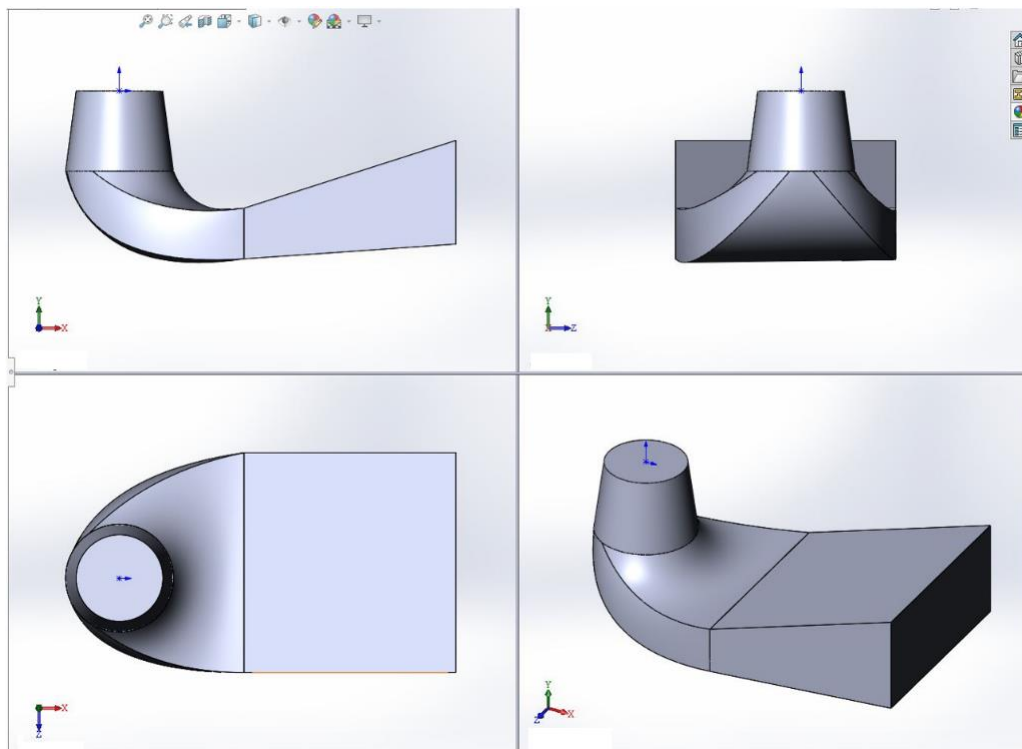


Рисунок 7.19 – Твердотільна 3D модель труби, що відсмоктує (чотири види)

Використовуючи команду **Lofted Boss/Base**, а також застосовуючи додаткові допоміжні криві, що були побудовані на попередньому етапі, будуємо коліно відсмоктуючої труби і в результаті отримуємо твердотільну модель ВТ гідротурбіни ПЛ 20 (рис. 7.19).

#### 5. Побудова опорного бичка

На даному етапі побудови, використовуючи команду **Shell** (Оболонка) будуємо порожнисту 3D модель відсмоктуючої труби.

Далі, за допомогою команди **Extruded Boss/Base** будуємо опорний бичок ВТ.

Геометричні розміри опорного бичка беруться згідно рекомендацій до даного типу відсмоктуючої труби із ДСТУ.

У результаті отримуємо тривимірну модель відсмоктуючої труби з опорним бичком (рис. 7.20).

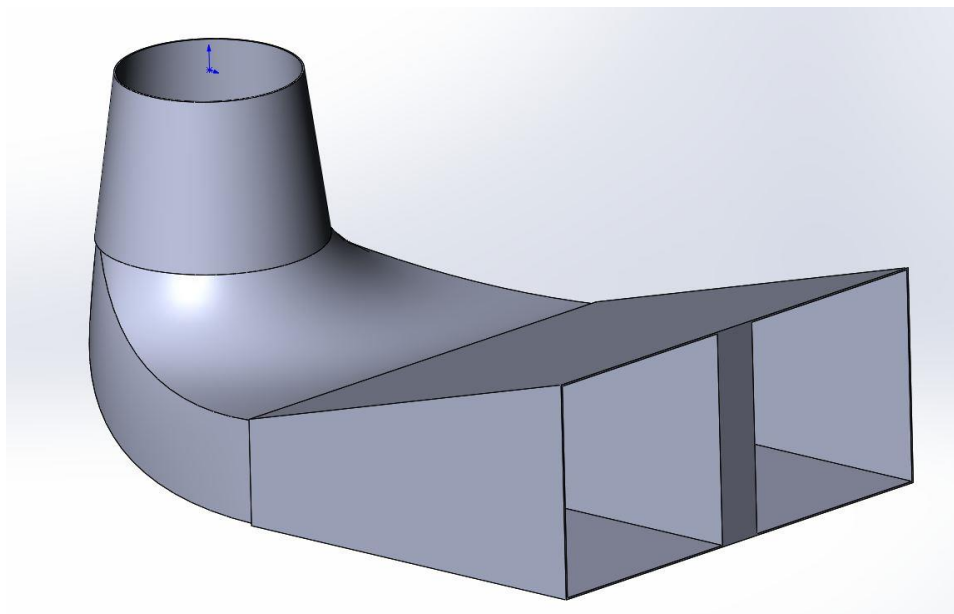


Рисунок 7.20 – Тривимірна модель відсмоктуючої труби гідротурбіни ПЛ 20

#### Висновки

У цьому розділі було виконано побудову тривимірних моделей основних елементів проточної частини гідротурбіни за допомогою програмного комплексу

SolidWorks. Завдяки використанню потужного інструментарію цієї програми вдалося створити точні геометричні моделі таких ключових компонентів, як спіральна камера, робоче колесо та відсмоктуюча труба.

Отримані тривимірні моделі мають високу якість і можуть бути використані для подальших інженерних і наукових досліджень. Зокрема, ці моделі є основою для чисельного моделювання потоків у проточній частині гідротурбіни із застосуванням таких програмних засобів, як ANSYS Fluent, FlowVision, OpenFOAM та інших систем для гідродинамічного аналізу.

Застосування SolidWorks у процесі створення цих моделей дозволяє автоматизувати багато рутинних задач, забезпечуючи точність геометрії та можливість її подальшої параметризації. Це відкриває можливості для швидкого внесення змін і оптимізації конструкцій відповідно до заданих вимог.

Результати цієї роботи можуть слугувати базою для подальшої розробки цифрових двійників гідротурбін, що є важливим етапом у впровадженні сучасних технологій у сфері гідроенергетики. Побудовані моделі також сприяють розширенню можливостей для оптимізації поточних конструкцій та розробки нових підходів до проектування проточних частин гідромашин.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які переваги використання SolidWorks у створенні тривимірних моделей гідромашин?
2. Що означає параметризація моделей у SolidWorks, і як вона впливає на процес моделювання?
3. Які основні етапи створення розрахункових площин для спіральної камери?
4. Чому команда Lofted Boss/Base є ключовою для моделювання спіральної частини камери?
5. Що забезпечують допоміжні криві (Guide Curves) при створенні геометрії складних поверхонь?

6. Що потрібно враховувати при перенесенні профілів лопатей робочого колеса на циліндричні поверхні?
7. Які параметри задаються при використанні команди Revolved Boss/Base для створення обтічника робочого колеса?
8. Що таке 3D-ескізи, і як вони використовуються для моделювання відсмоктуючої труби?
9. Як результати тривимірного моделювання можуть бути інтегровані в чисельні розрахунки потоків?
10. Як створені моделі в SolidWorks можуть бути адаптовані для інших програм гідродинамічного аналізу?

## 8 МОДЕЛЮВАННЯ ЗБІРОК

### 8.1 Вступ

Моделювання збірок у CAD-системах відкриває широкі можливості для конструювання складних механізмів і технічних систем. Цей процес є важливим інструментом для інженерів, які прагнуть ефективно поєднати окремі компоненти в єдину конструкцію, що відповідає вимогам функціональності, надійності та виробничої технологічності.

Особливістю збірок є їхня здатність відображати реальну взаємодію компонентів, ураховуючи точність геометричних зв'язків, допустимі відхилення і кінематичні обмеження. Використання сучасних CAD-програм дозволяє не лише спрощувати процес проектування, але й мінімізувати помилки, які можуть виникнути під час виробництва або експлуатації.

Цей розділ фокусується на вивченні принципів роботи зі збірками у програмі SolidWorks, а також на розвитку навичок, необхідних для створення, редагування і візуалізації складних конструкцій. Особлива увага приділяється інструментам і технікам, які сприяють оптимізації процесу проектування, забезпечуючи точність і ефективність моделювання.

Знання, отримані під час вивчення матеріалу, дозволять студентам впевнено працювати з багатокомпонентними системами, розуміти особливості роботи з параметричними зв'язками та застосовувати передові методи моделювання у своїй професійній діяльності.

### 8.2 Початок роботи зі збірками у режимі Assembly

Проектування збірок складається з двох або більше компонентів, зібраних разом у відповідних робочих положеннях за допомогою параметричних зв'язків. У SOLIDWORKS ці зв'язки називаються **Mates** (з'єднання або сполучення). З'єднання дозволяють обмежити ступені свободи компонентів у їхніх робочих положеннях.

Щоб увійти в режим збірки у SOLIDWORKS, викличте діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document** і виберіть кнопку **Assembly** (Збірка) (рис. 8.1). Потім натисніть кнопку **OK**, щоб створити новий документ збірки. Після цього відкриється новий документ SOLIDWORKS у режимі збірки, і запусниться вікно **Begin Assembly PropertyManager**, як показано на рисунку 8.2.

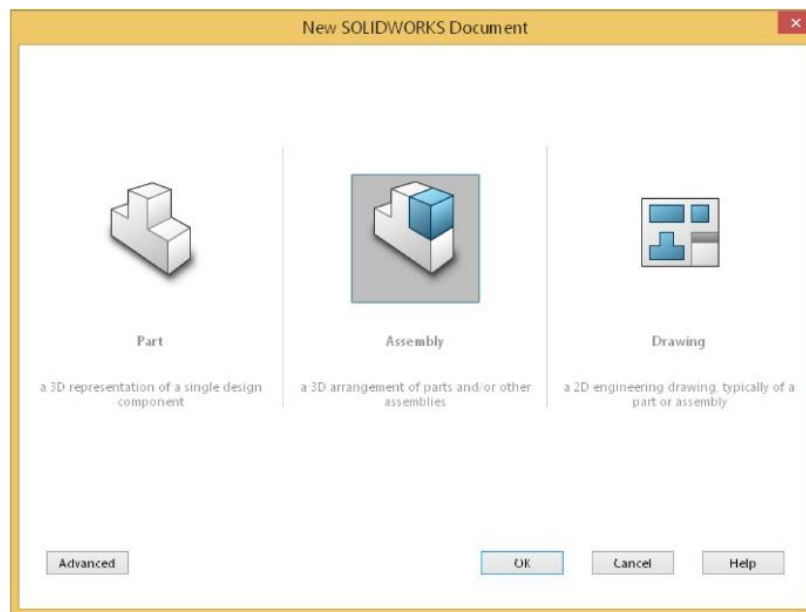


Рисунок 8.1 – Кнопка Assembly, обрана у діалоговому вікні New SOLIDWORKS Document

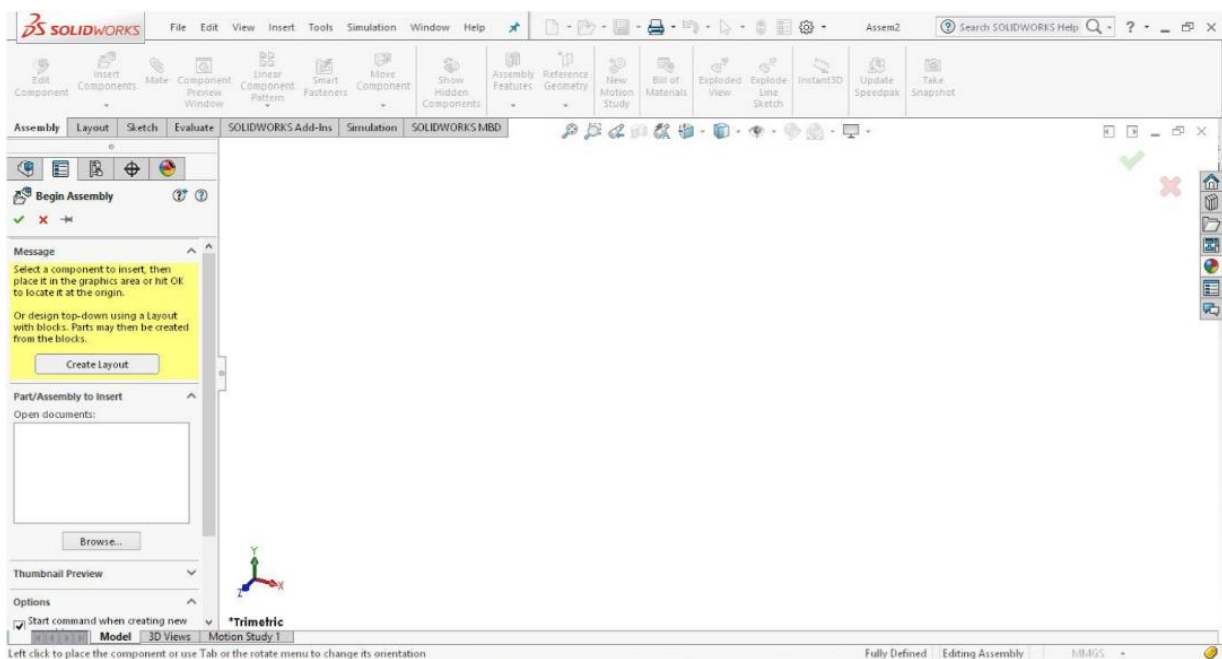


Рисунок 8.2 – Режим збірки з активованим Begin Assembly PropertyManager



## 8.2.1 Підходи до проектування збірок

У SOLIDWORKS збірки створюються за допомогою двох типів підходів до проектування:

- Підхід "знизу вгору" (bottom-up).
- Підхід "зверху вниз" (top-down).

Далі описано ці підходи.

### *Підхід проектування збірки "знизу вгору" (Bottom-up Assembly)*

Підхід "знизу вгору" є традиційним і найпоширенішим методом проектування збірок. У цьому підході всі компоненти створюються як окремі файли деталей і потім розміщуються та використовуються у збірці як зовнішні компоненти.

У цьому підході компоненти створюються в режимі **Part** і зберігаються у файлах з розширенням *.sldprt*. Після створення та збереження всіх компонентів збірки створіть новий документ збірки (*.sldasm*) і вставте компоненти в нього за допомогою інструментів, доступних у режимі збірки (**Assembly mode**). Після вставлення компонентів зберіть їх за допомогою з'єднань збірки (**Assembly mates**).

Основною перевагою цього підходу є те, що вигляд деталі не обмежується, оскільки у поточному файлі знаходиться лише одна деталь. Таким чином, цей підхід дозволяє зосередитися на складних індивідуальних елементах. Його також надають перевагу під час роботи з великими збірками або збірками зі складними деталями.

### *Підхід проектування збірки "зверху вниз" (Top-down Assembly)*

У підході "зверху вниз" компоненти створюються в тому самому документі збірки, але зберігаються як окремі файли деталей. Тому підхід "зверху вниз" суттєво відрізняється від підходу "знизу вгору".

У цьому підході робота починається в документі збірки, і геометрія однієї деталі допомагає визначати геометрію іншої деталі.

### 8.3 Створення збірок "знизу вгору"

#### Завдання 1

У цьому завданні розглядається створення і збирання всіх компонентів збірки Tool Vise (Затискний пристрій або Механічні лещата).

Збірка Tool Vise показана на рисунку 8.3. Розміри різних компонентів збірки наведені на рисунках 8.4 – 8.9.

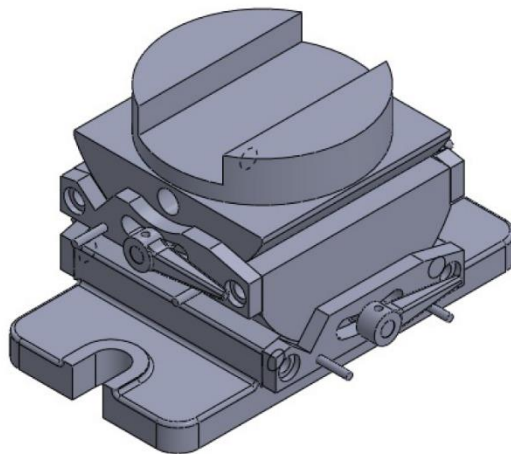


Рисунок 8.3 – Збірка Tool Vise

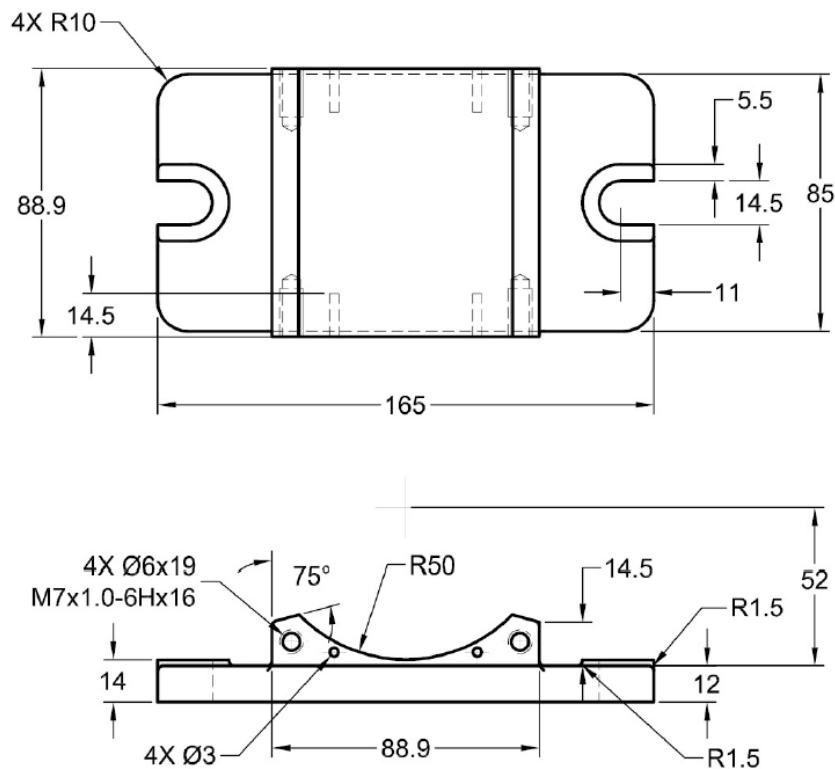


Рисунок 8.4 – Ортогональні вигляди та розміри сідла (Saddle)

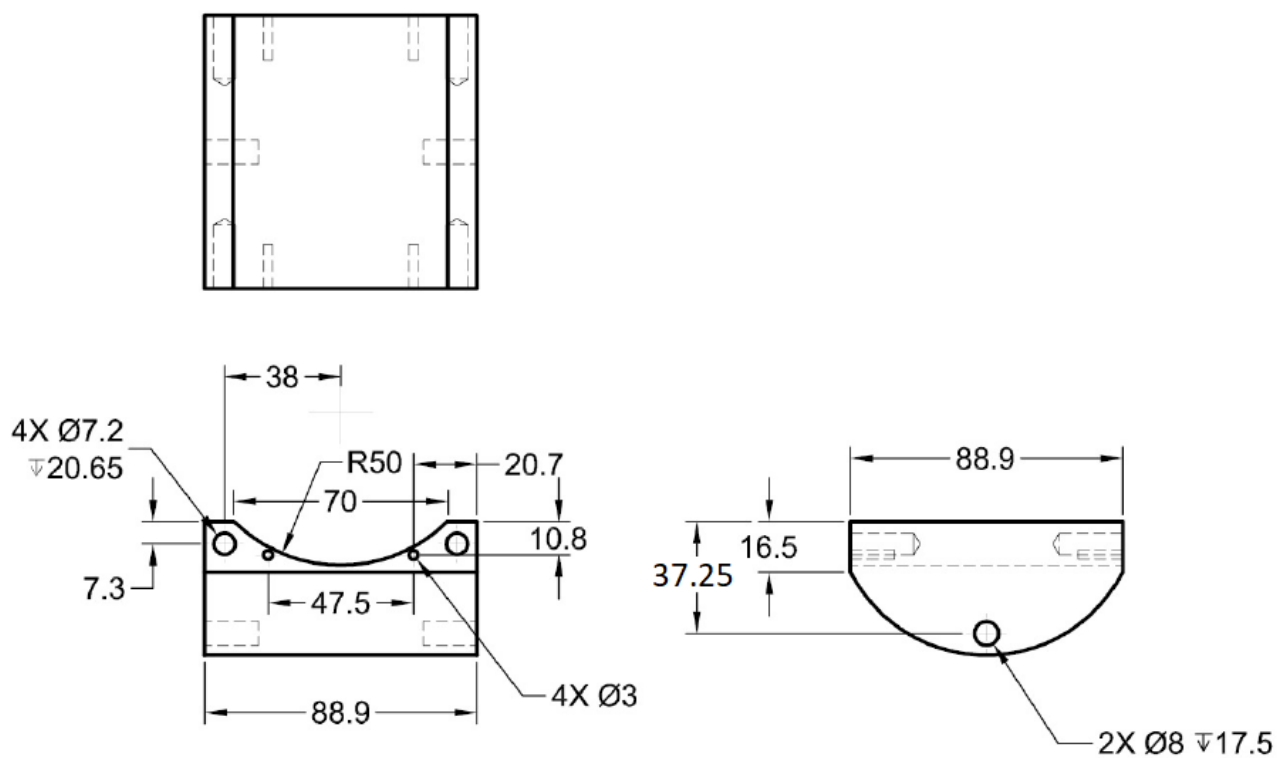


Рисунок 8.5 – Ортогональні вигляди та розміри центрального елемента (Center Member)

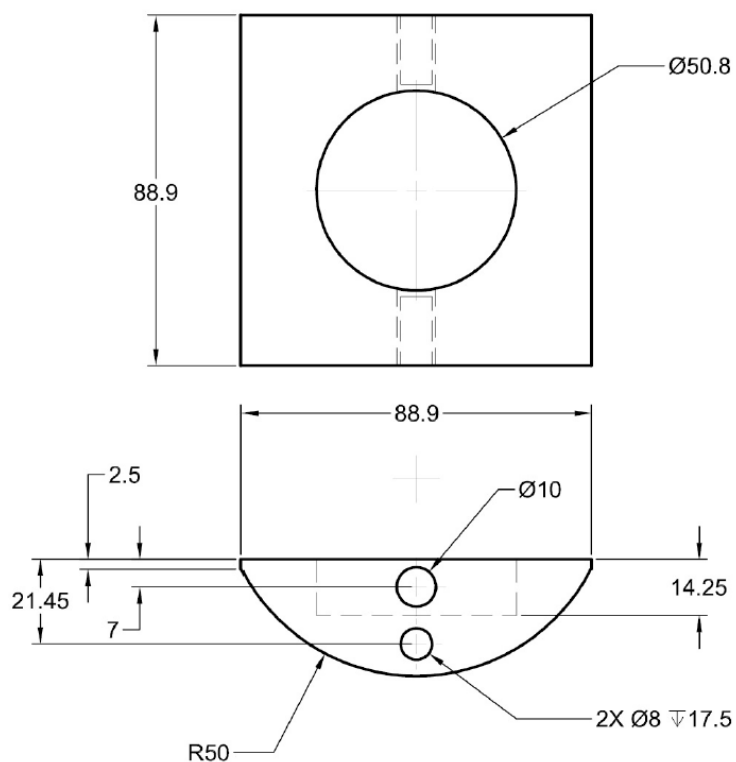


Рисунок 8.6 – Ортогональні вигляди та розміри верхнього елемента (Upper Member)



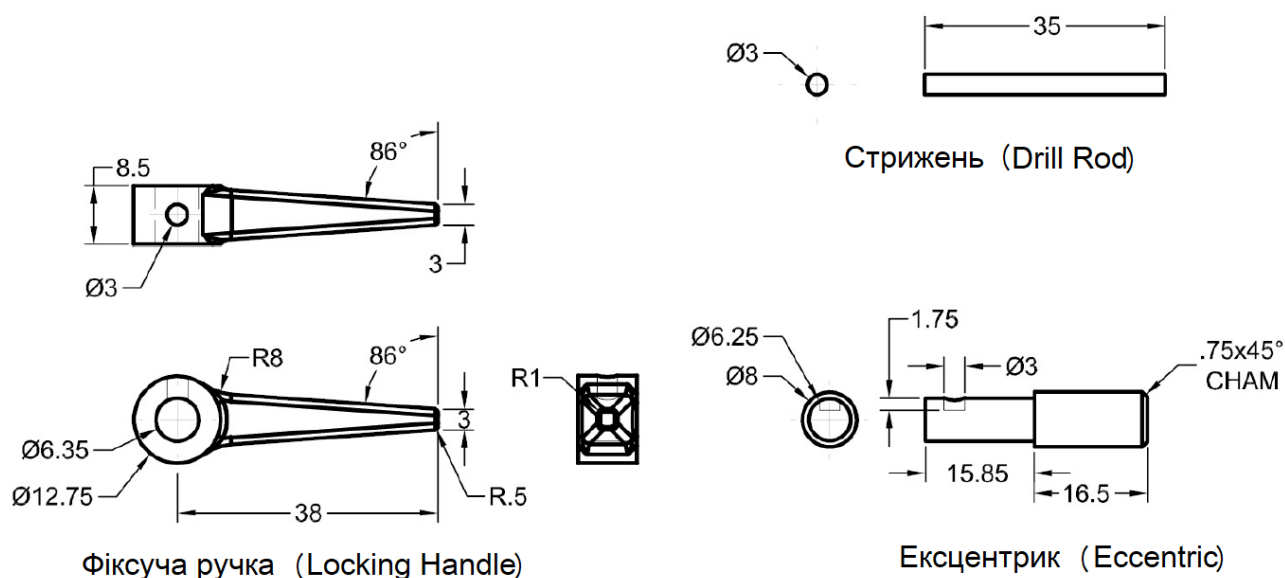


Рисунок 8.9 Ортогональні вигляди та розміри фіксуючої ручки (Locking Handle), ексцентрика (Eccentric) та нижньої пластини (Lower Plate)

### Необхідні кроки для виконання завдання:

- а) Створіть усі компоненти як окремі файли деталей і збережіть їх у зручній папці.
- б) Вставте компонент Saddle у середовище збірки й розмістіть його в початку координат (див. рис. 8.21).
- в) Вставте компонент Center Member у середовище збірки. Додайте з'єднання між Saddle та Center Member (див. рисунки 8.22 – 8.27).
- г) Вставте компонент Upper Member у середовище збірки. Додайте з'єднання між Center Member і Upper Member (див. рисунки 8.28 і 8.29).
- д) Вставте компонент Top Holder у середовище збірки. Додайте з'єднання між Upper Member і Top Holder (див. рисунки 8.30 – 8.32).
- е) Вставте решту компонентів збірки в середовище збірки й додайте необхідні з'єднання для їхнього збирання з іншими компонентами (див. рисунки 8.33 – 8.40).
- ж) Збережіть збірку.

## Створення компонентів

Як зазначено в описі завдання, спочатку потрібно створити всі компоненти збірки Tool Vise як окремі файли деталей у середовищі деталей (**Part**) і потім зібрати їх у середовищі збірки (**Assembly**).

Спочатку необхідно створити сідло (Saddle) для збірки.

1. Створіть новий файл деталі в SOLIDWORKS і виконайте базовий елемент для сідла на площині зверху, як показано на рисунку 8.10. Необхідні розміри вказано на рисунку 8.4.

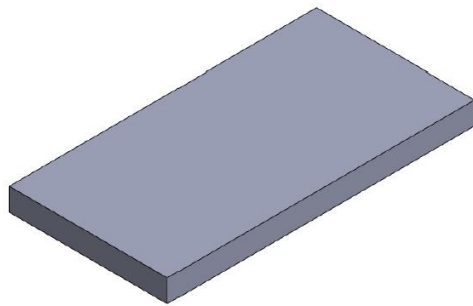


Рисунок 8.10 – Базовий елемент для сідла (Saddle)

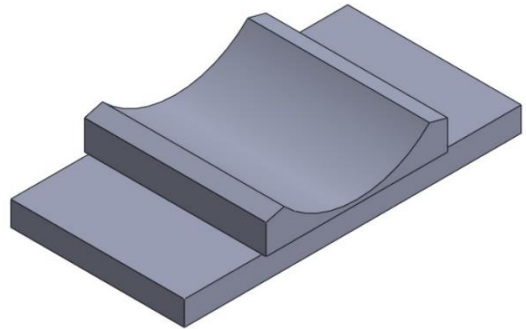


Рисунок 8.11 – Другий елемент для сідла

3. Створіть третій елемент моделі – виріз за допомогою інструмента **Extruded Cut**, як показано на рисунку 8.12. Необхідні розміри беруться з рисунка 8.4.

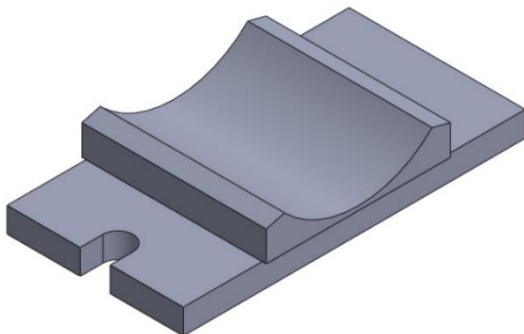


Рисунок 8.12 Модель після створення вирізу

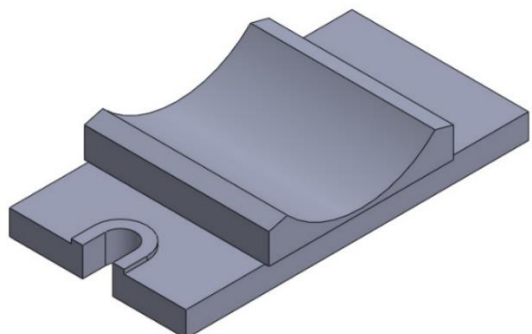


Рисунок 8.13 Модель після створення четвертого елемента

4. Створіть четвертий елемент моделі – елемент видавлювання, як показано на рисунку 8.13. Необхідні розміри вказано на рисунку 8.4.

5. Створіть п'ятий елемент моделі, віддзеркаливши третій і четвертий елементи, як продемонстровано на рисунку 8.14.

6. Створіть різбовий отвір M7.0 x 1.0 за допомогою інструмента **Hole Wizard** (рис. 8.15). Потім створіть три екземпляри цього отвору за допомогою інструмента **Mirror**, як показано на рисунку 8.16.

### *Примітка*

На рисунку 8.16 стиль відображення моделі змінено на **Hidden Lines Visible** (Видимі приховані лінії) для кращого розуміння моделі.

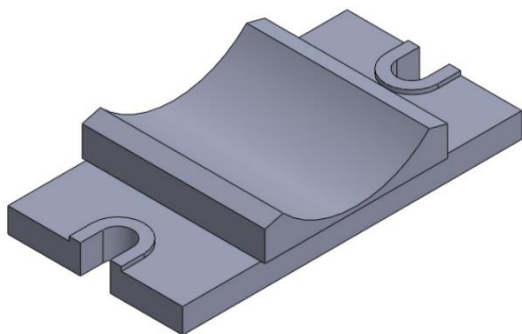


Рисунок 8.14 – Модель після створення віддзеркаленого елемента

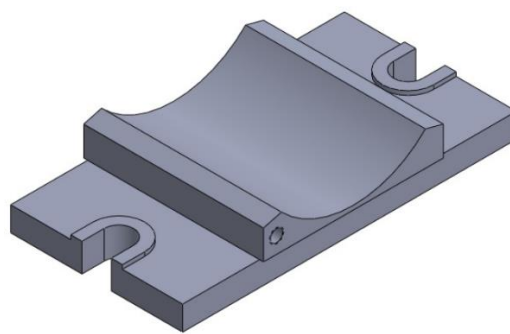


Рисунок 8.15 – Модель після створення нарізного отвору

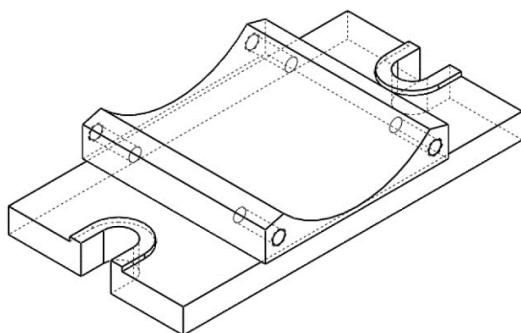


Рисунок 8.16 – Модель після створення всіх екземплярів нарізного отвору

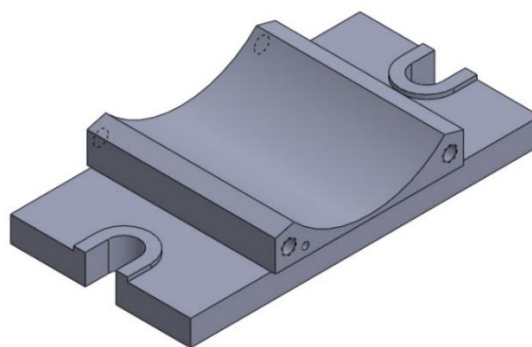


Рисунок 8.17 – Модель після створення простого отвору

7. Створіть простий отвір діаметром 3 мм за допомогою інструмента **Simple Hole**, як показано на рисунку 8.17. Потім створіть три екземпляри цього отвору за допомогою інструмента **Mirror** (рис. 8.18).

8. Застосуйте заокруглення радіусом 10 мм та 1.5 мм до відповідних кромek моделі за допомогою інструмента **Fillet**. Остаточну модель після додавання фасок представлено на рисунку 8.19.

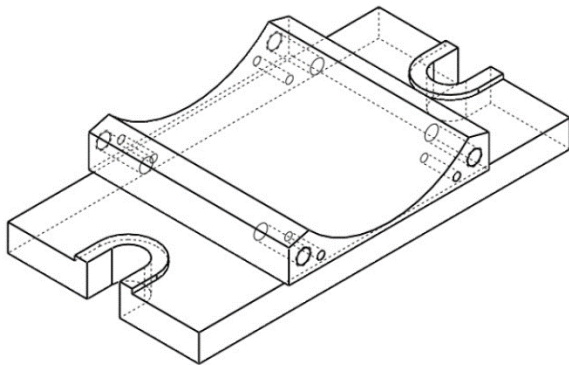


Рисунок 8.18 – Модель після створення всіх екземплярів простого отвору

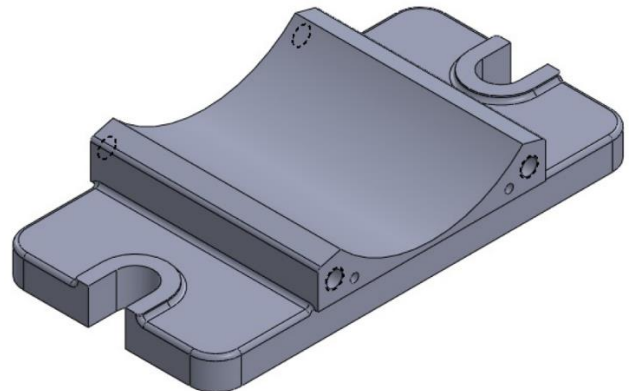


Рисунок 8.19 – Остаточна модель сидла

Після створення моделі потрібно її зберегти.

9. Збережіть модель в папку вибрану для файлів збірки Tool Vise.

10. Аналогічно створіть усі інші компоненти збірки Tool Vise як окремі файли деталей. Задайте назви компонентів, зазначені на рисунках 8.5 – 8.9. Збережіть файли у вибрану папку.

### Вставка першого компонента в збірку

Після створення всіх компонентів збірки Tool Vise, потрібно створити новий документ збірки в SOLIDWORKS, щоб зібрати їх.

1. Запустіть SOLIDWORKS і викличте діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document**.

2. У цьому діалоговому вікні виберіть кнопку **Assembly**, а потім натисніть кнопку **OK**; відкриється середовище збірки з активованим **Begin Assembly PropertyManager** (рис. 8.20).



Тепер потрібно вставити перший компонент збірки Tool Vise, яким є сідло, у середовище збірки за допомогою **Begin Assembly PropertyManager**.

**Begin Assembly PropertyManager** використовується для вставки компонентів у середовище збірки. Це вікно властивостей відображається лише при створенні нового документа збірки. У секції **Message** цього менеджера властивостей відображаються інструкції для роботи.

3. Натисніть кнопку **Browse** у секції **Part/Assembly to Insert** (Деталь/збірка для вставлення), щоб відкрити діалогове вікно **Open** (Відкрити). Потім перейдіть до папки, яка була обрана для збереження файлів збірки.

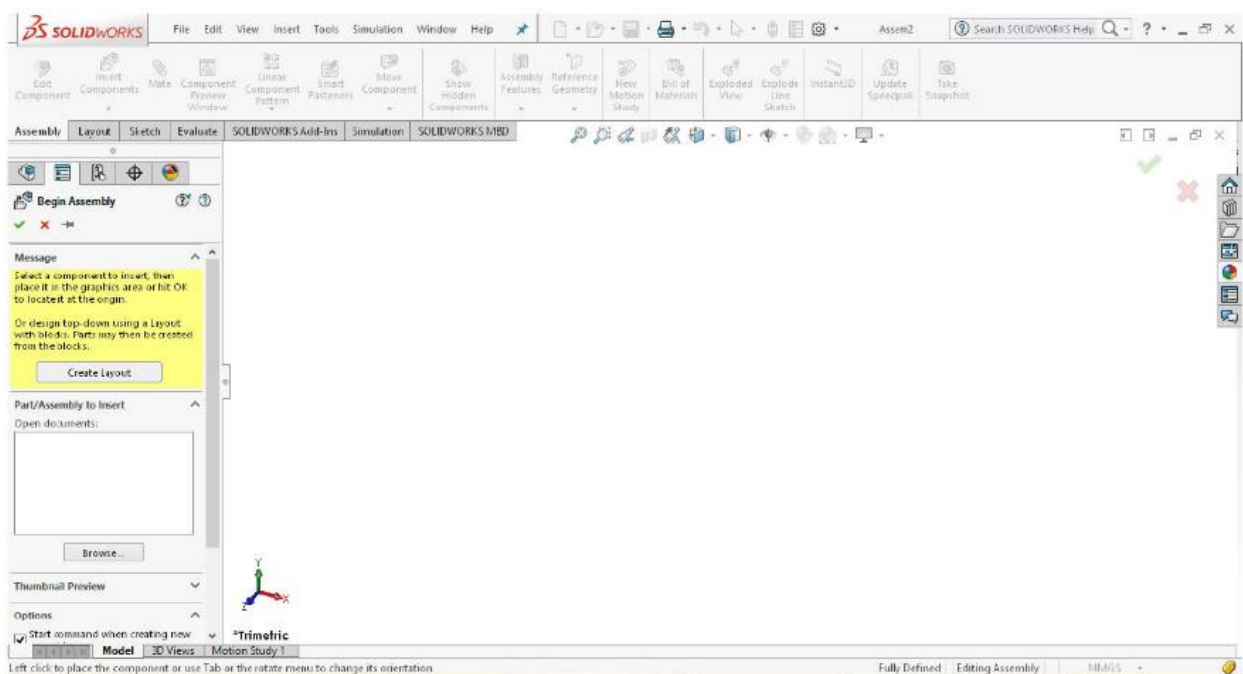


Рисунок 8.20 – Середовище збірки з активованим Begin Assembly PropertyManager

4. Двічі клацніть на Saddle; у середовищі збірки відобразиться попередній вигляд Saddle, прикріплений до курсора. Крім того, назва вибраного компонента відобразиться у зоні відображення відкритих документів у секції **Part/Assembly to Insert** у PropertyManager.

Зверніть увагу, що під час переміщення курсора компонент **Saddle** також рухається разом із ним. Рекомендується розмістити перший компонент збірки в початку координат збірки.

5. Натисніть кнопку **OK** у вікні **Begin Assembly PropertyManager**, щоб розмістити початок координат **Saddle** у збігу з початком координат документа збірки. Або ж клацніть будь-де у графічній зоні, щоб розмістити компонент.

### ***Порада***

*Якщо компонент, який потрібно вставити, відкритий в іншому вікні, він відобразиться у зоні відображення відкритих документів у **Begin Assembly PropertyManager**. Щоб вставити компонент із цієї зони, виберіть його й перемістіть курсор у графічну зону; компонент буде прикріплено до курсора. Клацніть лівою кнопкою миші, щоб розмістити компонент у середовищі збірки.*

*Для попереднього перегляду вибраного компонента розгорніть секцію **Thumbnail Preview** у **PropertyManager**.*

*Щоб вставити кілька компонентів або кілька екземплярів одного й того ж компонента, натисніть кнопку **Keep Visible** (Залишити видимим), що знаходиться вгорі вікна **Begin Assembly PropertyManager**, і виберіть точки розміщення в графічній зоні.*

### ***Примітка***

*Коли ви вставляєте перший компонент у збірку, використовуючи підхід "знизу вгору", він фіксується за замовчуванням. Тому немає потреби додавати з'єднання для зафіксованого компонента. Щоб додати з'єднання до зафіксованого компонента, спочатку потрібно зробити його "плаваючим" (**Float**). Для цього виберіть компонент у графічній зоні або в дереві побудови **FeatureManager Design Tree**, клацніть правою кнопкою миші для виклику контекстного меню та виберіть опцію **Float**.*

6. Змініть орієнтацію перегляду на ізометричну. На рисунку 8.21 показано середовище збірки після вставлення першого компонента.

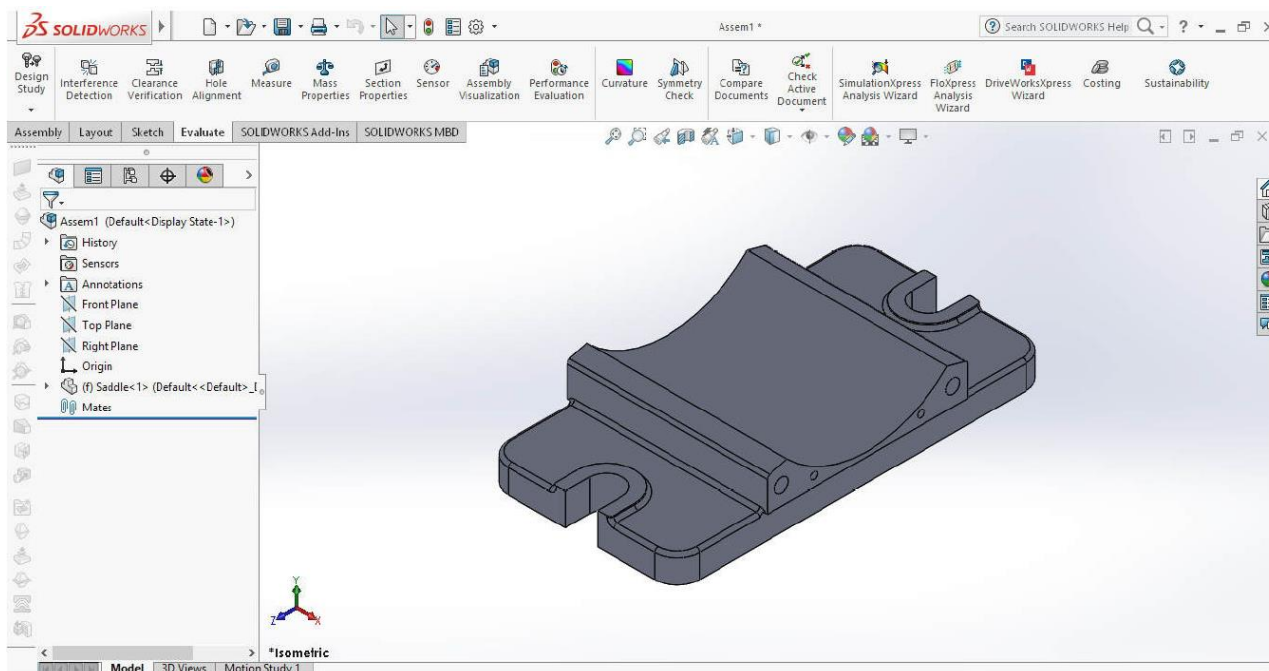


Рисунок 8.21 – Середовище збірки після вставлення першого компонента

### **Примітка**

При вставці компонента у збірку, він відображається в дереві побудови **FeatureManager Design Tree**. Назва першого компонента записується за таким принципом:

**(f) Назва компонента <1>.**

У цьому форматі:

- **(f)** означає, що компонент зафіксований і його неможливо перемістити.
- Далі йде назва компонента.
- **<1>** позначає порядковий номер цього компонента у збірці.

Символ **(-)** перед назвою компонента означає, що компонент є "плаваючим" (floating) і недовизначеним (under defined). Потрібно додати необхідні з'єднання, щоб повністю визначити його.

Символ **(+)** означає, що компонент є перевизначеним (over defined).

Якщо перед назвою компонента немає символів, це означає, що компонент є повністю визначеним (fully defined).

## Вставка та збирання другого компонента

Після розміщення першого компонента у середовищі збірки потрібно вставити Center Member (Центральний елемент) і зібрати його з сідлом, додавши необхідні умови з'єднання.

1. Натисніть вкладку **Assembly**, доступну у **CommandManager**, щоб відобразити панель **Assembly CommandManager**.

2. Виберіть кнопку **Insert Components** (Вставити компоненти) на панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Insert Component PropertyManager**. Потім викличте діалогове вікно **Open**, натиснувши кнопку **Browse** у секції **Part/Assembly to Insert** вікна **PropertyManager**.

**Insert Component PropertyManager** використовується для вставки компонентів у середовище збірки. Як зазначалося раніше, компоненти також можна вставити за допомогою **Begin Assembly PropertyManager**, однак це вікно доступне лише при створенні нового документа збірки.

3. Двічі клацніть на **Center Member**; у середовищі збірки з'явиться попередній вигляд компонента разом із курсором компонента. Потім клацніть лівою кнопкою миші, щоб розмістити компонент у середовищі збірки так, щоб він не перетинався з наявним компонентом. На рисунку 8.22 показано середовище збірки після вставки другого компонента.

Зверніть увагу, що перед назвою компонента в дереві побудови **FeatureManager Design Tree** відображається символ (-). Це означає, що компонент є "плаваючим" (floating) і недовизначеним. Тепер потрібно додати до нього необхідні з'єднання за допомогою інструмента **Mate**.

4. Виберіть кнопку **Mate** на панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Mate PropertyManager**.

**Mate** використовується для збирання компонентів шляхом додавання з'єднань. З'єднання дозволяють точно розміщувати та позиціонувати

компоненти відносно інших компонентів і оточення у збірці, обмежуючи їхні ступені свободи.

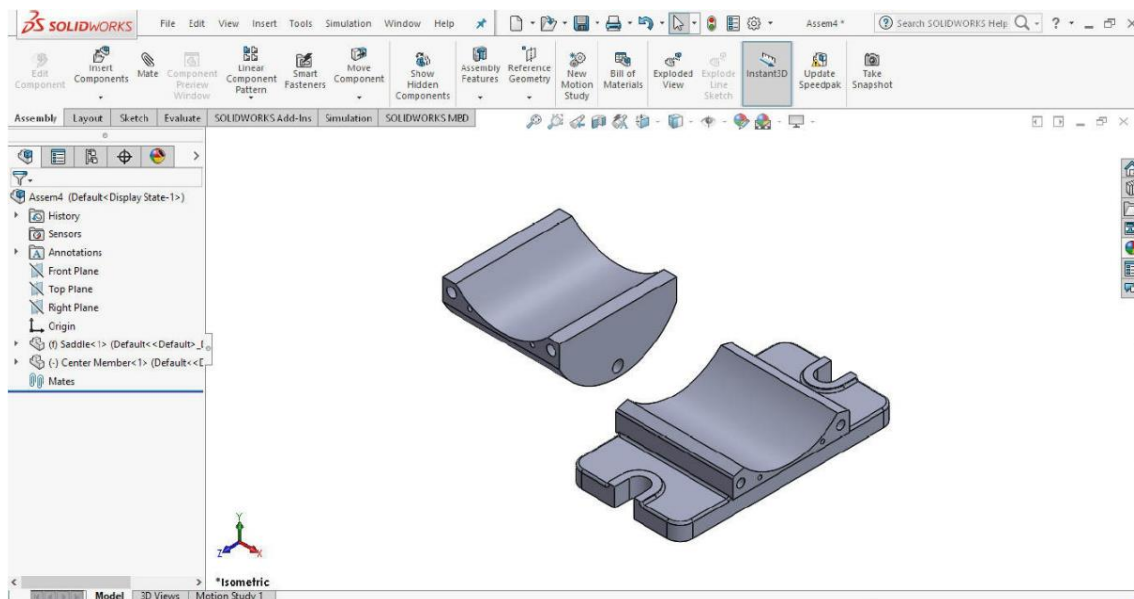


Рисунок 8.22 – Середовище збірки після вставки другого компонента

5. Виберіть грань компонента Saddle (див. рис. 8.23); назва вибраної грані відобразиться у зоні вибору **Entities to Mate** секції **Mate Selections** вікна **Mate PropertyManager**. Далі виберіть грань компонента **Center Member** (див. рис. 8.23); відобразиться спливаюча панель інструментів **Mate** з обраним параметром **Concentric** (Концентричний), як представлено на рисунку 8.24. У графічній зоні також відобразиться попередній вигляд збірки з застосованим концентричним з'єднанням.

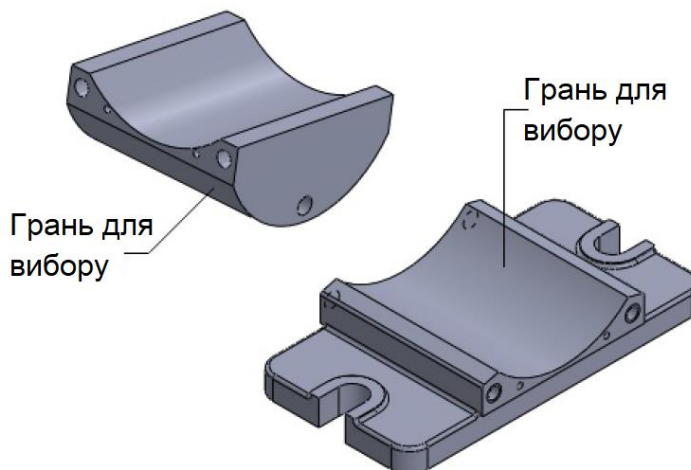


Рисунок 8.23 – Грані для вибору

### **Примітка**

Щоб вибрати грань компонента *Center Member*, можливо, потрібно буде окремо повернути його в середовищі збірки за допомогою інструмента **Rotate Component** (Обертати компонент), доступного у меню **Move Component** (Перемістити компонент) на панелі **Assembly CommandManager**.

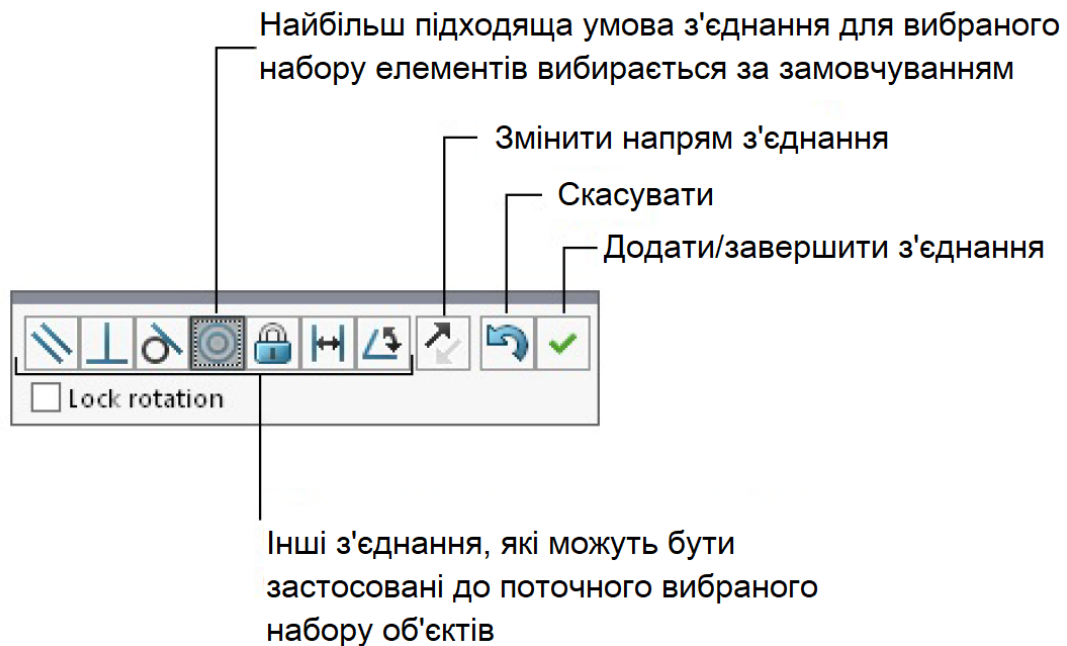


Рисунок 8.24 – Спливаюча панель інструментів Mate

Спливаюча панель інструментів **Mate** відображає з'єднання, які можна застосувати до поточного набору вибраних об'єктів. Також за замовчуванням вибирається найбільш доцільна умова з'єднання.

6. Натисніть кнопку **Add/Finish Mate** (Додати/Завершити з'єднання) на спливаючій панелі інструментів **Mate**; між вибраними гранями буде застосовано концентричне з'єднання.

Після додавання концентричного з'єднання вікно **Mate PropertyManager** все ще відображається зліва від графічної зони.

7. Застосуйте з'єднання співпадіння (**Coincident**) між правими площинами компонентів *Saddle* та *Center Member* (див. рис. 8.25). Аналогічно, застосуйте з'єднання співпадіння між передніми площинами компонентів (рис. 8.26).

8. Вийдіть із вікна **Mate PropertyManager**. На рисунку 8.27 представлено середовище збірки після збирання перших двох компонентів.

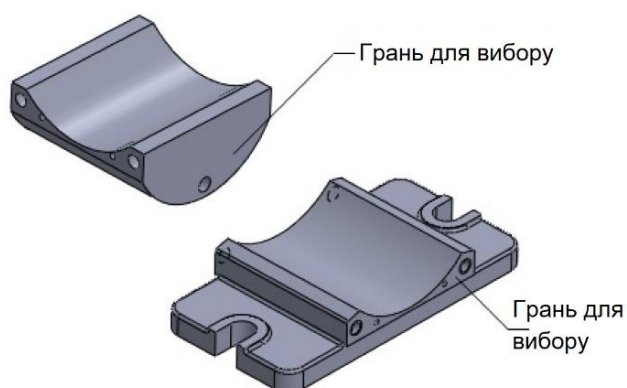


Рисунок 8.25 – Грані для вибору

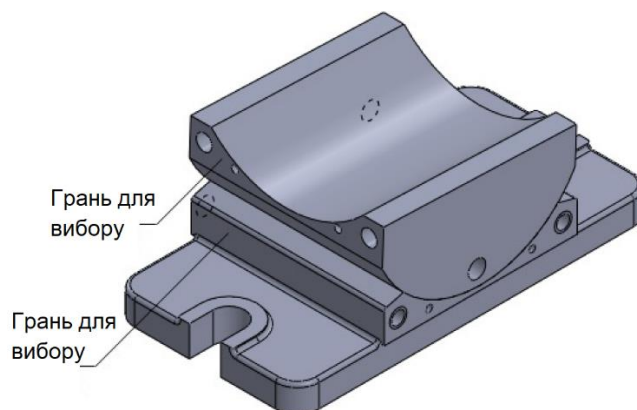


Рисунок 8.26 – Грані для вибору

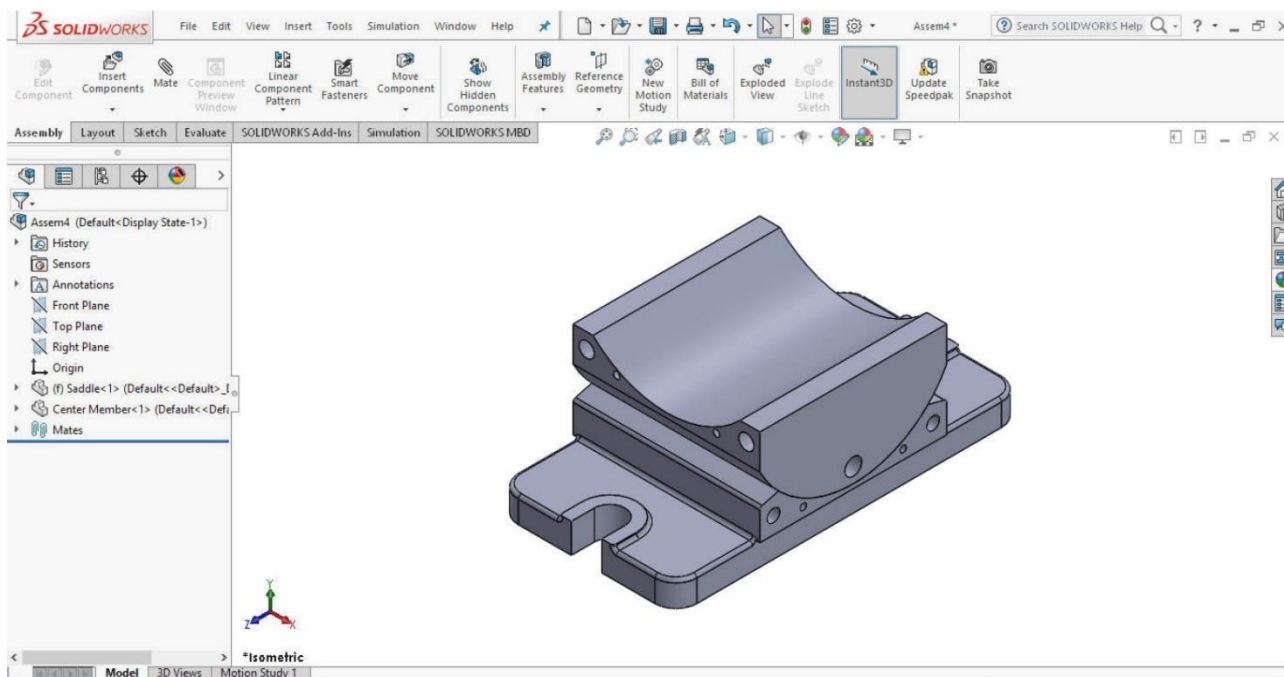


Рисунок 8.27 – Середовище збірки після збирання перших двох компонентів

### Вставка та збирання третього компонента

Тепер потрібно вставити третій компонент, Upper Member (Верхній елемент), у середовище збірки та застосувати необхідні з'єднання для його збирання.



1. Виберіть кнопку **Insert Components** на панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Insert Components PropertyManager**.

2. Натисніть кнопку **Browse** у секції **Part/Assembly to Insert** вікна **PropertyManager**; відкриється діалогове вікно **Open**.

3. Двічі клацніть на **Upper Member**; попередній вигляд компонента буде прикріплено до курсора компонента. Потім розмістіть компонент у середовищі збірки так, щоб він не перетинався з іншими компонентами, клацнувши лівою кнопкою миші.

4. Виберіть кнопку **Mate** на панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Mate PropertyManager**.

5. Поверніть збірку, утримуючи середню кнопку миші, і виберіть нижню напівкруглу грань компонента **Upper Member**. Потім виберіть верхню напівкруглу грань компонента **Center Member**; відобразиться спливаюча панель інструментів **Mate** із обраним параметром **Concentric**. У графічній зоні також з'явиться попередній вигляд збірки з застосованим концентричним з'єднанням.

6. Натисніть кнопку **Add/Finish Mate** на спливаючій панелі інструментів **Mate**; концентричне з'єднання буде застосовано між вибраними гранями.

7. Аналогічно, застосуйте з'єднання співпадіння між передніми площинами компонентів **Center Member** і **Upper Member** (див. рис. 8.28). Далі застосуйте з'єднання співпадіння між правими площинами компонентів (рис. 8.29).

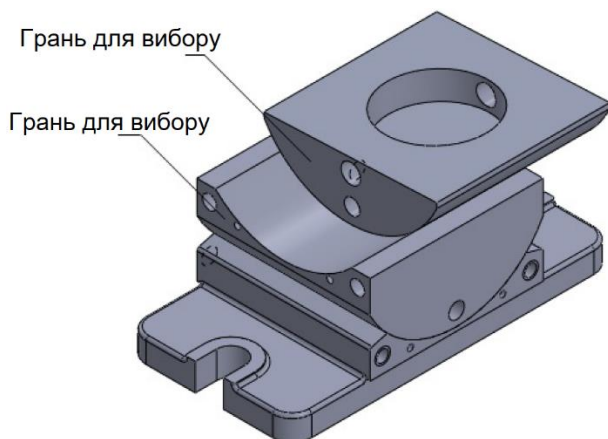


Рисунок 8.28 – Грані для вибору

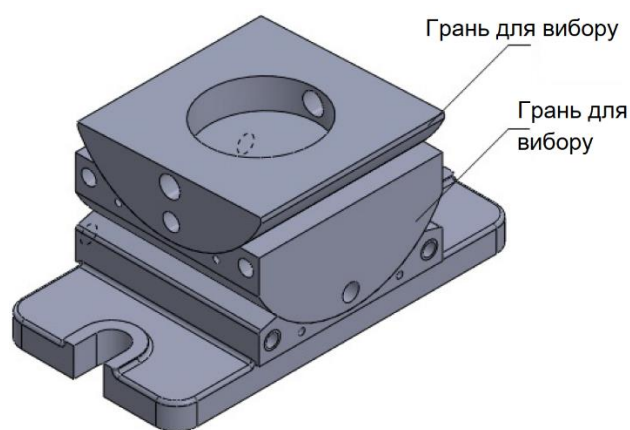


Рисунок 8.29 – Грані для вибору



## 8. Вийдіть із вікна **Mate PropertyManager**.

### Вставка та збирання четвертого компонента

Тепер потрібно вставити Top Holder (Верхній тримач) у середовище збірки та застосувати необхідні з'єднання для його збирання.

1. Вставте компонент Top Holder у середовище збірки за допомогою інструмента **Insert Components**.

2. Викличте вікно **Mate PropertyManager**, вибравши кнопку **Mate**. Потім поверніть збірку, утримуючи середню кнопку миші, і виберіть циліндричні грані компонентів Upper Member і Top Holder (див. рис. 8.30); відобразиться спливаюча панель інструментів **Mate** із обраним параметром **Concentric**.

3. Натисніть кнопку **Add/Finish Mate** на спливаючій панелі інструментів **Mate**; концентричне з'єднання буде застосовано між вибраними гранями.

4. Виберіть верхню площину компонента Upper Member у збірці, а потім виберіть площину компонента Top Holder (рис. 8.31); відобразиться спливаюча панель інструментів **Mate** із обраним параметром **Coincident**.

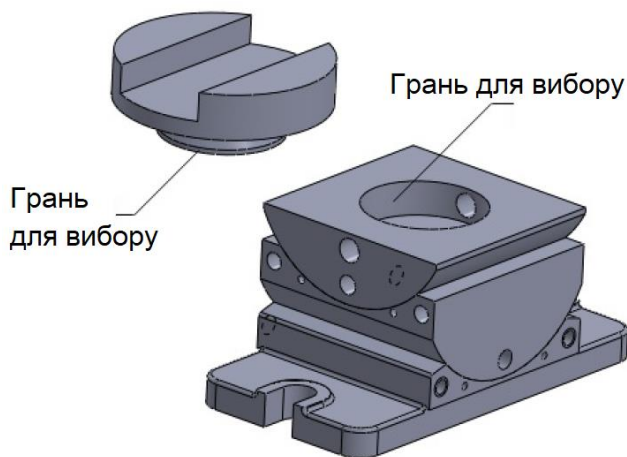


Рисунок 8.30 – Грані для вибору

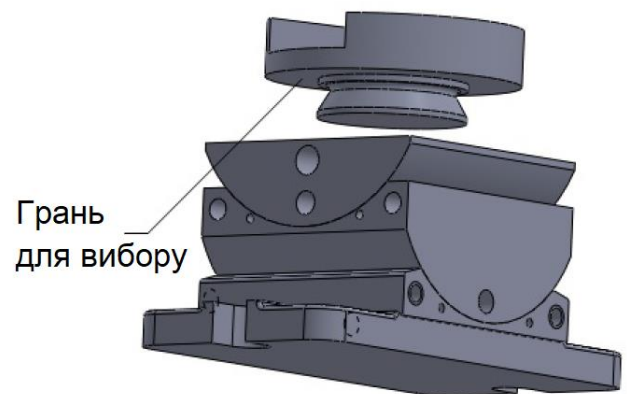


Рисунок 8.31 – Площина для вибору

### **Примітка**

*Якщо потрібні площини не видно, потрібно перемістити Top Holder за допомогою інструмента **Move Component** із панелі **Assembly CommandManager**.*

5. Натисніть кнопку **Add/Finish Mate** на спливаючій панелі інструментів **Mate**; збіжне з'єднання буде застосовано між вибраними гранями. Потім вийдіть із PropertyManager. На рисунку 8.32 показано середовище збірки після збирання компонента Top Holder.

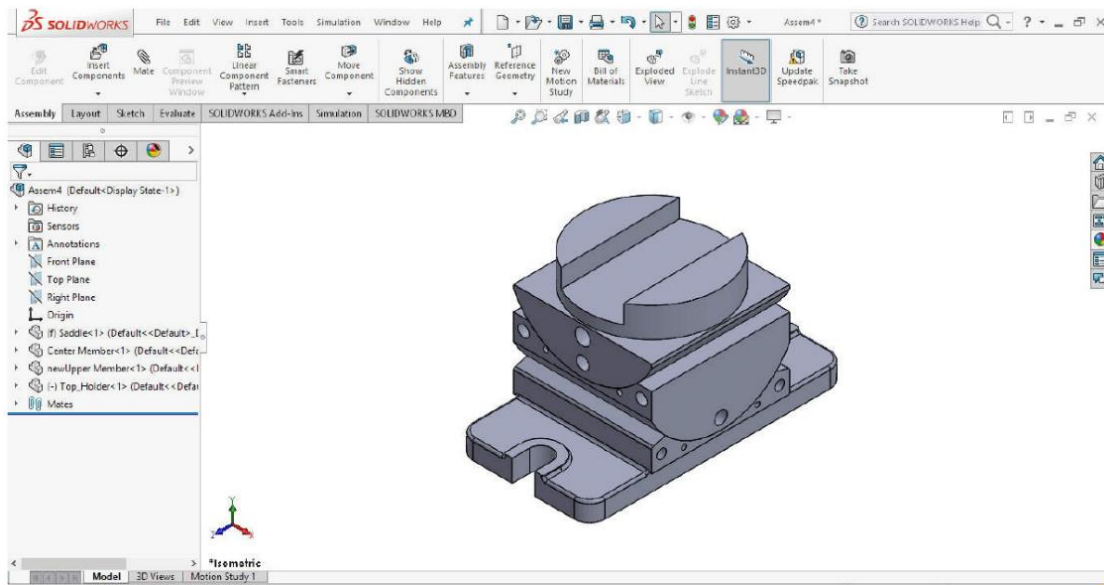


Рисунок 8.32 – Середовище збірки після збирання компонента Top Holder

### Вставка та збирання решти компонентів

Тепер потрібно зібрати решту компонентів збірки Tool Vise.

1. Вставте компонент Lower Plate (Нижня пластина) у середовище збірки за допомогою інструмента **Insert Components**.

2. Викличте інструмент **Mate** і зберіть компонент Lower Plate, додавши необхідні з'єднання. На рисунку 8.33 показано збірку після збирання першого екземпляра Lower Plate.

3. Аналогічно, вставте ще один екземпляр Lower Plate у середовище збірки та зберіть його (див. рис. 8.34).

4. Вставте компонент Upper Plate (Верхня пластина) у середовище збірки за допомогою інструмента **Insert Components** і зберіть його зі збіркою, як показано на рисунку 8.35.

5. Аналогічно, вставте другий екземпляр Upper Plate та зберіть його з компонентами збірки (див. рис. 8.36).

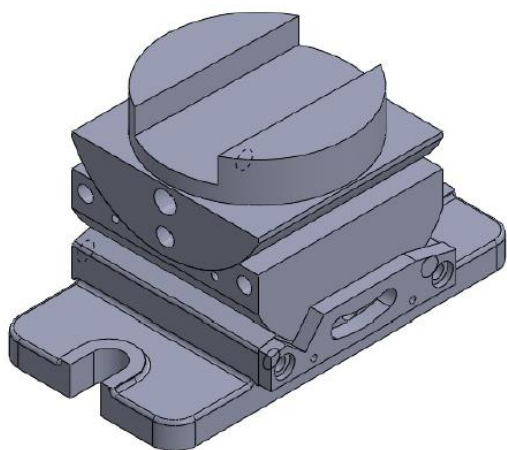


Рисунок 8.33 – Збірка після збирання першого екземпляра нижньої пластини

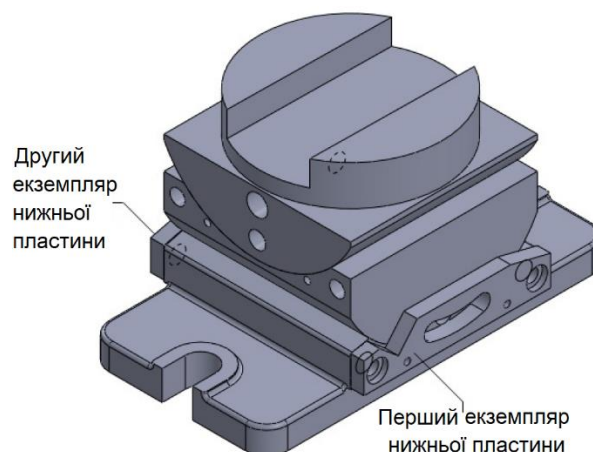


Рисунок 8.34 – Збірка після збирання другого екземпляра нижньої пластини

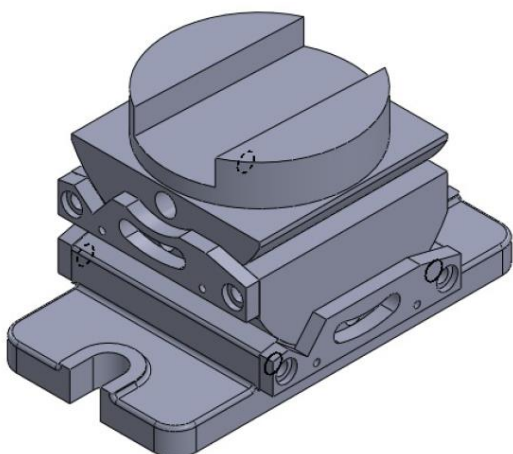


Рисунок 8.35 – Збірка після збирання першого екземпляра верхньої пластини

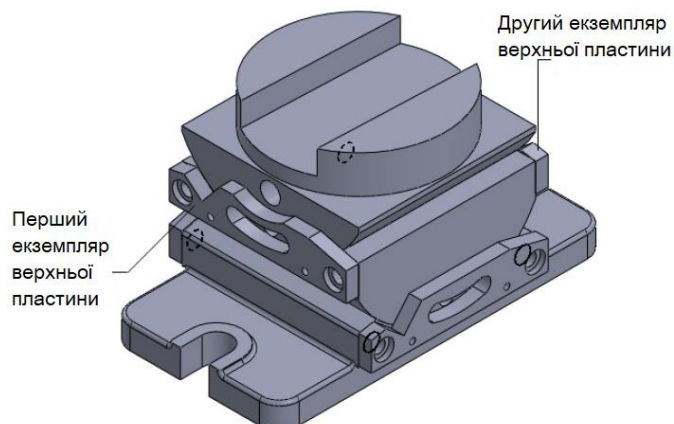


Рисунок 8.36 – Збірка після збирання другого екземпляра верхньої пластини

Тепер потрібно вставити чотири екземпляри компонента Eccentric (Ексцентрик) у середовище збірки та зібрати їх зі збіркою.

6. Викличте вікно **Insert Component PropertyManager** і натисніть кнопку **Keep Visible**, розташовану у верхньому правому куті PropertyManager.

Кнопка **Keep Visible** використовується для того, щоб вікно PropertyManager залишалося активним навіть після завершення завдання, дозволяючи виконувати ту саму дію кілька разів.

7. Натисніть кнопку **Browse** у секції **Part/Assembly to Insert** вікна **PropertyManager**; відкриється діалогове вікно **Open**.

8. Двічі клацніть на компоненті **Eccentric**; попередній вигляд компонента прикріпиться до курсора компонента. Потім розмістіть компонент у середовищі збірки так, щоб він не перетинався з іншими компонентами; до курсора буде прикріплено інший екземпляр того самого компонента, і ви зможете розмістити другий екземпляр.

Після вставки першого екземпляра компонента **Eccentric** у середовище збірки вікно **Insert Component PropertyManager** залишиться активним, оскільки ви натиснули кнопку **Keep Visible**.

9. Розмістіть другий екземпляр компонента **Eccentric** у середовищі збірки так, щоб він не перетинався з іншими компонентами. Аналогічно розмістіть ще два екземпляри компонента **Eccentric**. Потім вийдіть із вікна **PropertyManager**, натиснувши кнопку **OK**.

Після вставки чотирьох екземплярів компонента **Eccentric** у середовище збірки потрібно зібрати їх із іншими компонентами збірки, додавши необхідні з'єднання.

10. Викличте інструмент **Mate** і зберіть усі чотири екземпляри компонента **Eccentric**, додавши необхідні з'єднання. Якщо потрібно, обертайте компонент **Eccentric** за допомогою інструмента **Rotate Component** із панелі **Assembly CommandManager**. На рисунку 8.37 показано вигляд зверху збірки після збирання всіх компонентів **Eccentric**, а на рисунку 8.38 – ізометричний вигляд.

11. Аналогічно, зберіть вісім екземплярів **Drill Rod** (Стрижень) та чотири екземпляри **Locking Handle** (Фіксуюча ручка). На рисунку 8.39 показано вигляд зверху збірки після збирання всіх цих компонентів із іншими компонентами збірки, а на рисунку 8.40 – ізометричний вигляд фінальної збірки.

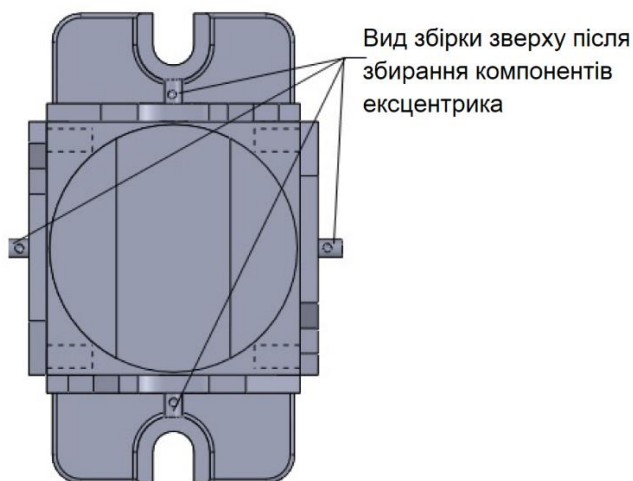


Рисунок 8.37 – Вид зверху збірки після збирання чотирьох екземплярів ексцентрика

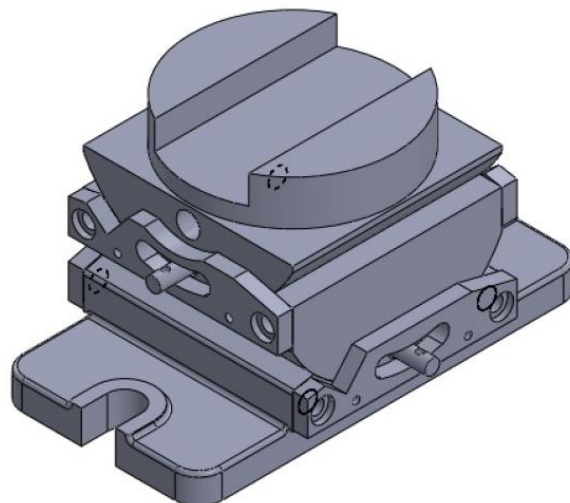


Рисунок 8.38 – Ізометричний вигляд збірки після збирання чотирьох екземплярів ексцентрика

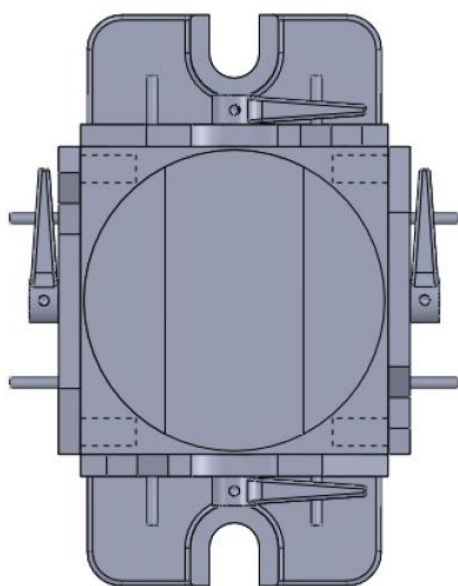


Рисунок 8.39 – Вид зверху фінальної збірки

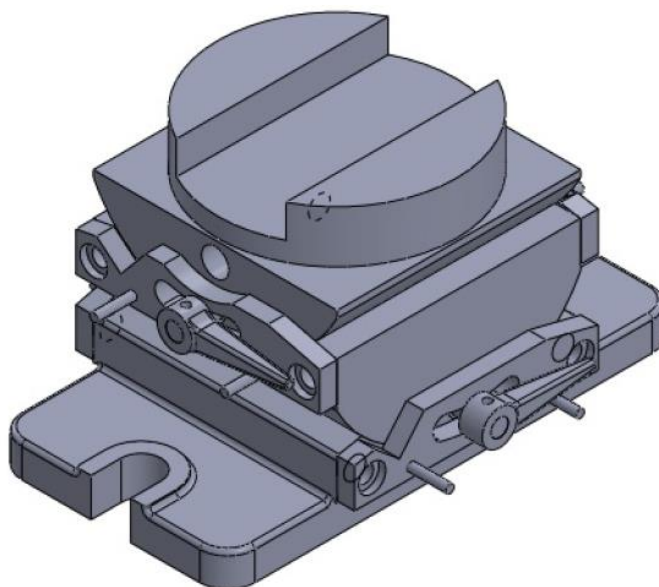


Рисунок 8.40 – Ізометричний вигляд фінальної збірки

12.Збережіть документ збірки під назвою Tool Vise у вибрану папку для файлів збірки.



## 8.4 Створення підбірок та рознесеного виду збірки

### Завдання 2

У цьому завданні розглянуто моделювання збірки Radial Engine (Радіальний двигун), показаної на рисунку 8.41. Ця збірка буде створена у двох частинах: підбірка та основна збірка. Також буде створено рознесений вид збірки та потім ескіз ліній рознесення (рис. 8.42). Вигляди та розміри всіх компонентів цієї збірки наведені на рисунках 8.43 – 8.46.

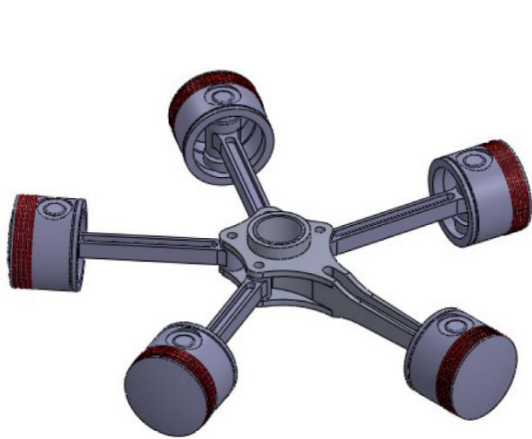


Рисунок 8.41 – Збірка Radial Engine

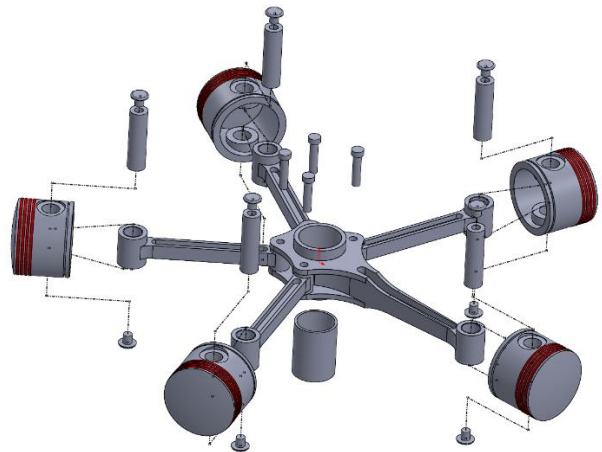


Рисунок 8.42 – Рознесений вигляд збірки

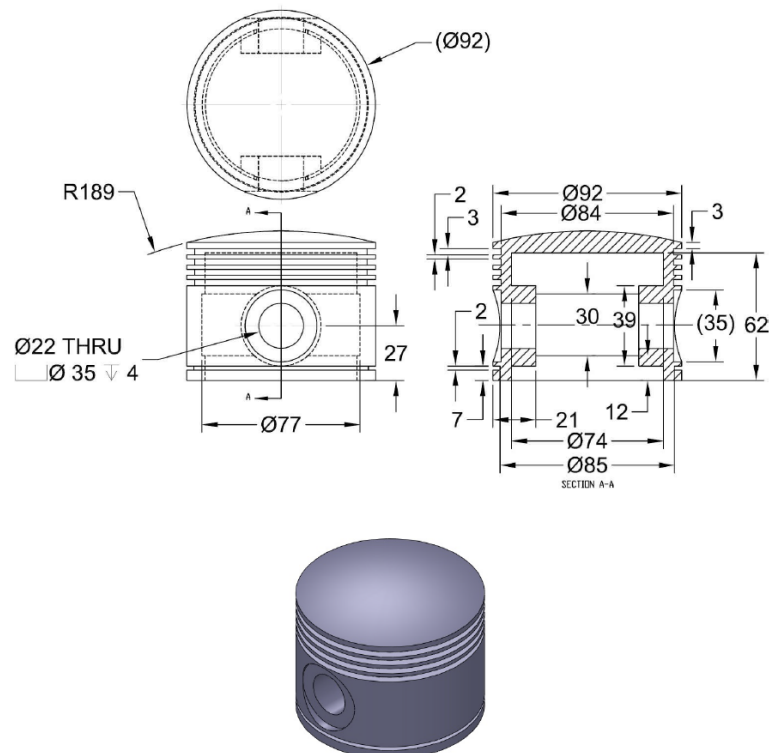


Рисунок 8.43 – Вигляди та розміри поршня (Piston)

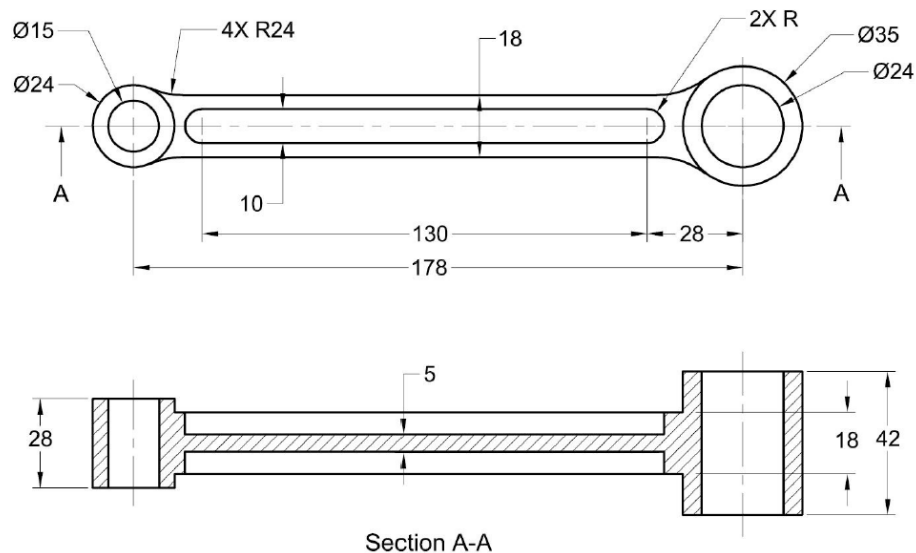


Рисунок 8.44 – Вигляди та розміри шарнірного шатуна (Articulated Rod)

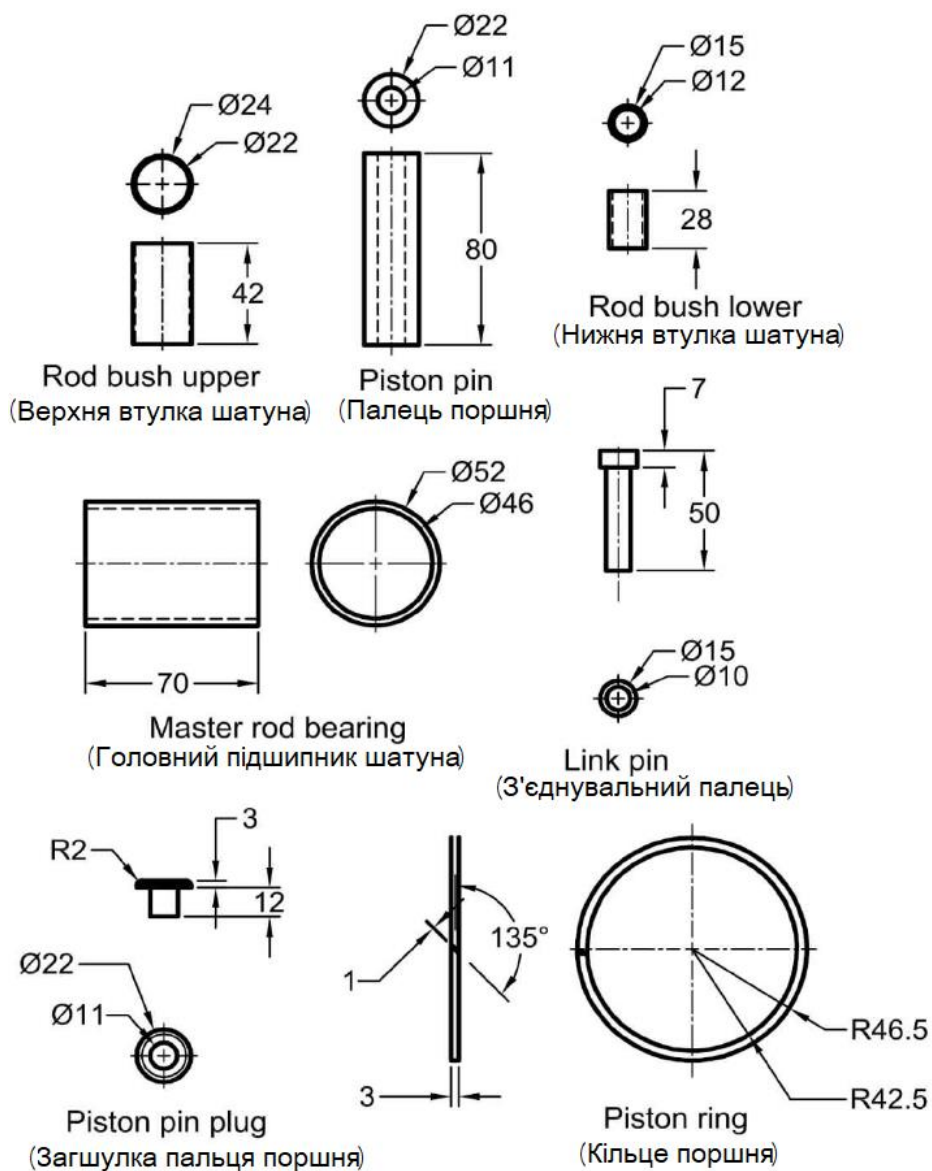


Рисунок 8.45 – Вигляди та розміри інших компонентів

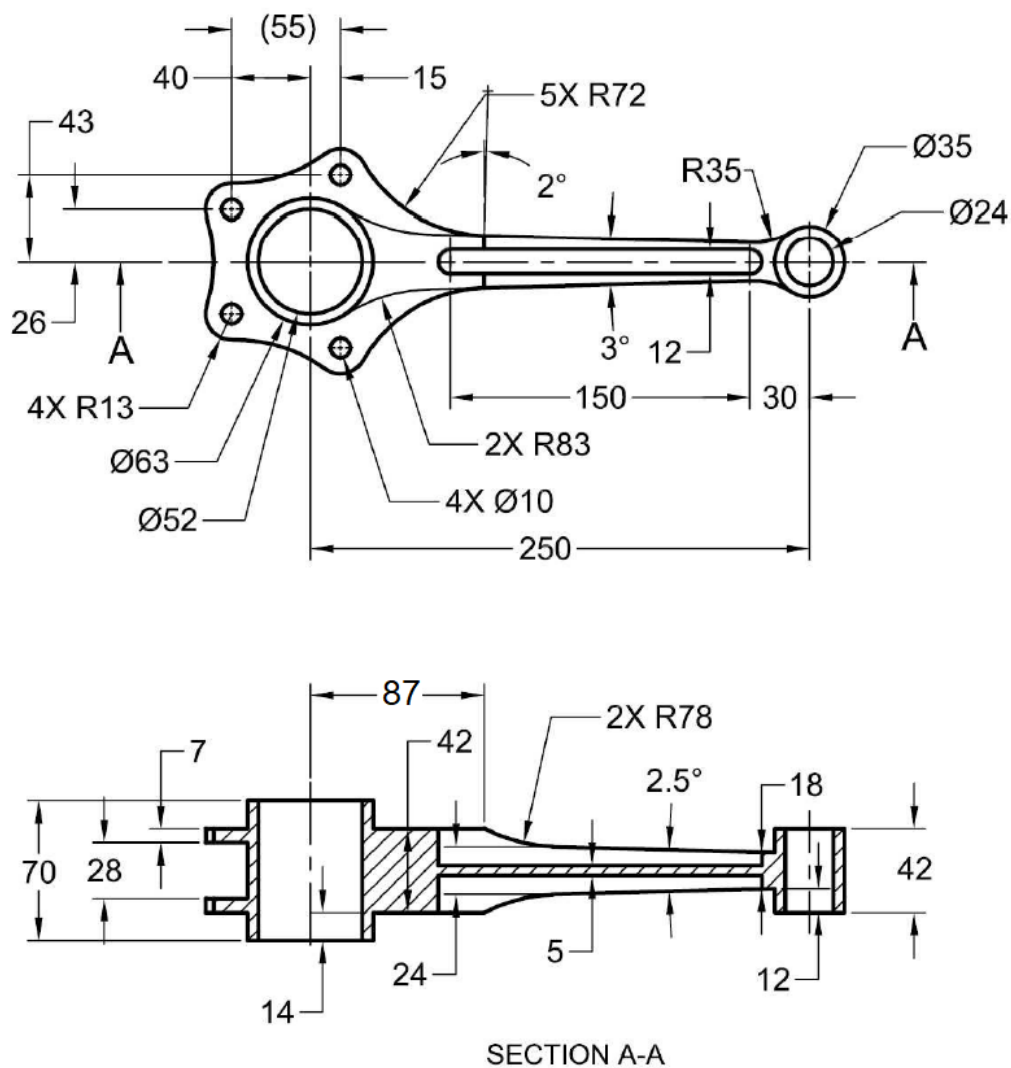


Рисунок 8.46 – Вигляди та розміри головного шатуна (Master Rod)

Необхідно розділити цю збірку на дві частини, оскільки вона є великою. Одна частина буде підзбіркою, а інша – основною збіркою.

Спочатку потрібно створити підзбірку, яка складається з компонентів: Articulated Rod (Шарнірний шатун), Piston (Поршень), Piston Rings (Поршневі кільця), Piston Pin (Палець поршня), Rod Bush Upper (Верхня втулка шатуна), Rod Bush Lower (Нижня втулка шатуна) і Piston Pin Plug (Заглушка пальця поршня).

Потім потрібно створити основну збірку, яка містить компоненти Master Rod (Головний шатун), Piston (Поршень), Piston Rings (Поршневі кільця), Piston Pin (Палець поршня), Rod Bush Upper (Верхня втулка шатуна) і Piston Pin Plug (Заглушка пальця поршня).

В кінці потрібно зібрати підзбірку з основною збіркою.



### Необхідні кроки для виконання завдання:

- а) Створіть усі компоненти збірки в режимі **Part** і збережіть їх у папці для зберігання файлів збірки, наприклад, папку можна назвати Radial Engine Assembly.
- б) Створіть новий документ збірки та зберіть компоненти для завершення підзбірки (див. рисунки 8.47 – 8.50).
- в) Створіть новий документ збірки та зберіть компоненти основної збірки (рис. 8.51).
- г) Зберіть підзбірку в основній збірці (див. рисунки 8.52 – 8.57).
- д) Створіть рознесений вигляд збірки та ескіз ліній рознесення (рис. 8.57 – 8.64).
- е) Збережіть збірку.

### Створення компонентів

- 1. Створіть папку з назвою Radial Engine Assembly за зручною вам адресою.
- 2. Створіть усі компоненти як окремі файли деталей і збережіть їх у цій папці.

### *Примітка*

*Під час створення компонента Master Rod переконайтеся, що отвори ліворуч створені за допомогою функції "шаблон на основі ескізу" (**Sketch-driven pattern**). Це необхідно, оскільки під час збирання компонента Link Pin потрібно буде створити похідний шаблон для цього компонента з використанням функції "шаблон на основі ескізу".*

### Створення підзбірки (Sub-assembly)

Як зазначалося раніше, спочатку потрібно створити підзбірку, а потім скласти її з основною збіркою.

1. Створіть новий документ збірки у SOLIDWORKS і вийдіть із вікна **Begin Assembly PropertyManager**. Потім збережіть документ збірки під назвою *Piston Articulation Rod Sub-assembly* у тій самій папці, де збережені деталі.

2. Спочатку розмістіть компонент Articulated Rod у початку координат збірки, а потім додайте інші компоненти, такі як Piston, Piston Pin, Piston Pin Plug, Rod Bush Upper і Rod Bush Lower.

3. Додайте необхідні з'єднання для збирання цих компонентів. На рисунку 8.47 показано послідовність збирання компонентів. У цьому рисунку рознесений вигляд і ескіз ліній рознесення наведені лише для довідки. На рисунку 8.48 представлено збірку після збирання компонентів: Articulated Rod, Piston, Piston Pin, Piston Pin Plug, Rod Bush Upper і Rod Bush Lower.

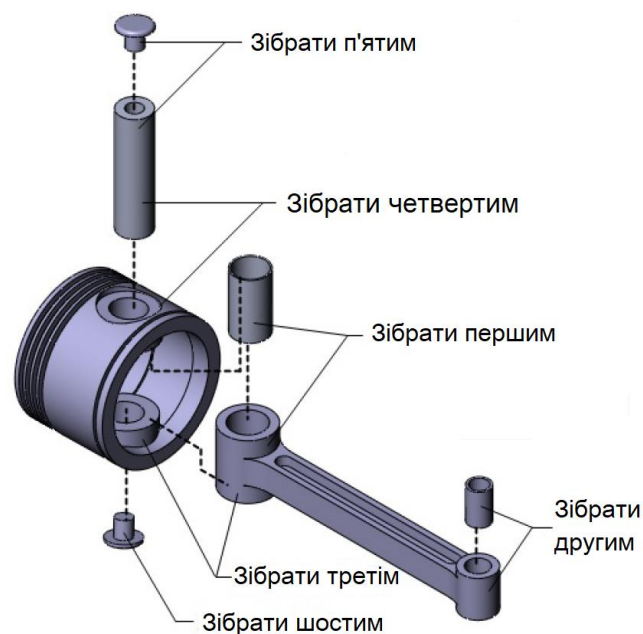


Рисунок 8.47 – Збирання компонентів Articulated Rod, Piston, Piston Pin, Piston Pin Plug, Rod Bush Upper, Rod Bush Lower

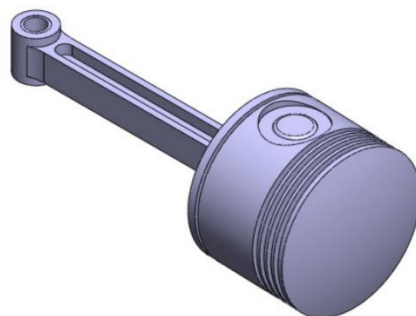


Рисунок 8.48 – Збірка після збирання компонентів

Зі збірки видно, що потрібно зібрати чотири екземпляри компонента Piston Ring. Спочатку зберіть лише один екземпляр Piston Ring у верхньому пазі кільця, а потім створіть локальний лінійний шаблон.

4. Вставте компонент Piston Ring у середовище збірки та зберіть його у верхньому пазі компонента Piston, додавши необхідні з'єднання (див. рис. 8.49).

### ***Примітка***

*У цій збірці змінено колір компонента Piston Ring. Щоб змінити колір, виберіть Piston Ring; з'явиться спливаюча панель інструментів. Виберіть кнопку **Appearances** (Зовнішній вигляд) на цій панелі; відкриється меню. Виберіть назву компонента; відкриється вікно *PropertyManager*, де можна налаштувати колір.*

Далі потрібно створити локальний лінійний шаблон компонента Piston Ring.

5. Виберіть кнопку **Linear Component Pattern** (Лінійний шаблон компонентів) на панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Linear Pattern PropertyManager**.

6. Виберіть одну з горизонтальних граней компонента Articulated Rod, щоб визначити напрямок створення шаблону.

7. Натисніть у зоні вибору **Components to Pattern** і виберіть компонент Piston Ring у графічній зоні; у графічній зоні відобразиться попередній вигляд лінійного шаблону з параметрами за замовчуванням.

8. Натисніть кнопку **Reverse Direction** (Змінити напрямок), щоб змінити напрямок створення шаблону, якщо це необхідно.

9. Встановіть значення 5 мм у полі **Spacing** (Відстань) і 4 у полі **Number of Instances** (Кількість екземплярів).

10. Натисніть кнопку **OK** у вікні **Linear Pattern PropertyManager**; підзбірка після створення шаблону компонента Piston Ring показана на рисунку 8.50.

11. Збережіть і закрийте документ збірки.

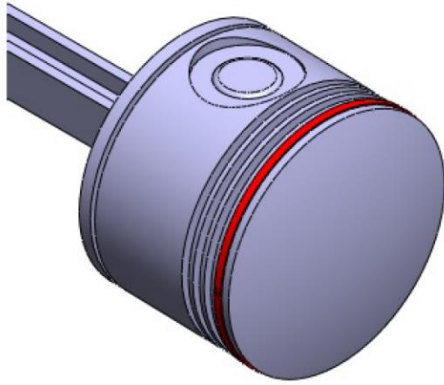


Рисунок 8.49 – Перший екземпляр Piston Ring, зібраний з Piston

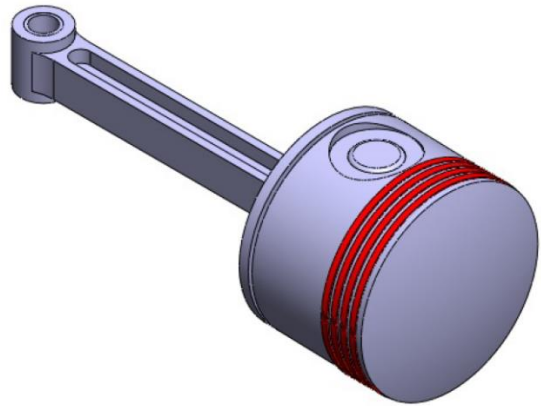


Рисунок 8.50 – Підзбірка після створення шаблону Piston Ring

### Створення основної збірки

Далі потрібно створити основну збірку, а потім зібрати підзбірку з основною збіркою.

1. Створіть новий документ збірки в SOLIDWORKS і вийдіть із вікна **Begin Assembly PropertyManager**. Збережіть документ під назвою *Radial Engine assembly* у тій самій папці, де збережені компоненти.

2. Спочатку розмістіть Master Rod (Головний шатун) у початку координат збірки, а потім розмістіть такі компоненти: Piston (Поршень), Piston Pin (Палець поршня), Piston Pin Plug (Заглушка пальця поршня), Piston Ring (Кільце поршня), Rod Bush Upper (Верхня втулка шатуна) і Master Rod Bearing (Підшипник головного шатуна) в поточному документі збірки.

3. Зберіть усі компоненти основної збірки, використовуючи необхідні умови з'єднання. Зверніть увагу, що потрібно створити лінійний шаблон для компонента Piston Ring. Також потрібно зібрати два екземпляри компонента Piston Pin Plug у збірці. На рисунку 8.51 показано основну збірку після збирання всіх компонентів.

### Збирання підзбірки з основною збіркою

Тепер потрібно розмістити підзбірку в основній збірці, а потім зібрати їх разом.

1. Виберіть кнопку **Insert Components** на панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Insert Component PropertyManager**.
2. Якщо документ підзбірки не відкритий, виберіть кнопку **Browse** у секції **Part/Assembly to Insert**; відкриється діалогове вікно **Open**.
3. У спадному списку **Files of type** виберіть **Assembly (\*.asm, \*.sldasm)**.
4. Двічі клацніть на підзбірці **Piston Articulated Rod Sub-assembly** і розмістіть її в основній збірці. На Рисунку 8.52 показано підзбірку та основну збірку, розміщені разом.

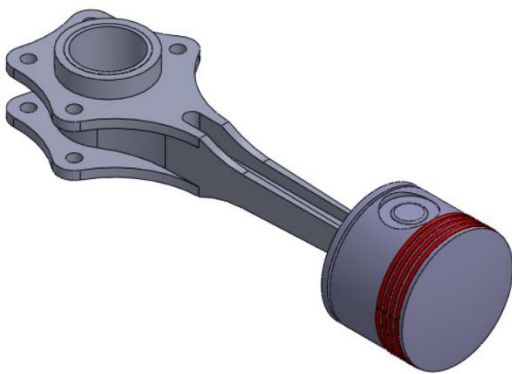


Рисунок 8.51 – Компоненти, зібрані в основній збірці

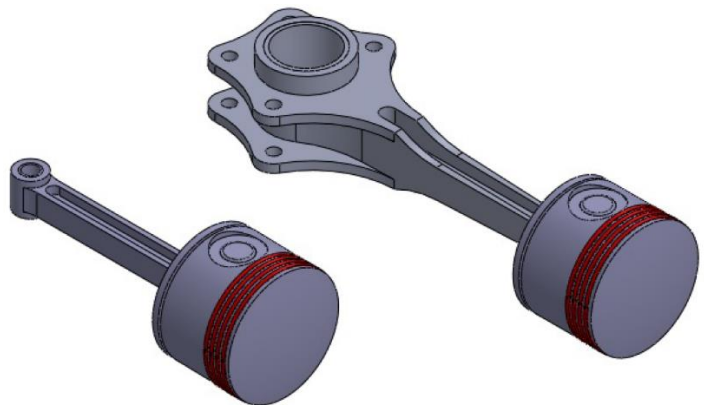


Рисунок 8.52 – Підзбірка та основна збірка, розміщені разом

5. Зберіть підзбірку з основною збіркою, використовуючи з'єднання. На рисунку 8.53 показано структуру збірки, яка допоможе зібрати екземпляри підзбірки. На рисунку 8.54 представлено всі екземпляри підзбірки, зібрані з основною збіркою.

### *Порада*

*Можна створити більше ніж один екземпляр підзбірки. Для цього утримуйте клавішу CTRL, виберіть і перетягніть підзбірку з дерева побудови **FeatureManager Design Tree**, а потім відпустіть ліву кнопку миші.*

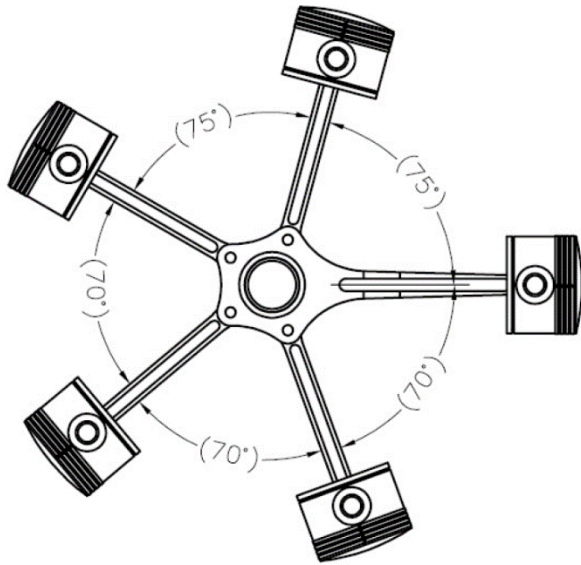


Рисунок 8.53 – Компоненти, зібрані в основній збірці

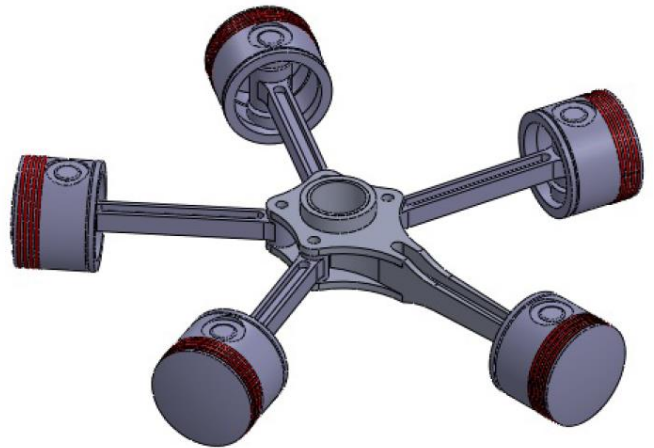


Рисунок 8.54 – Підзбірка, зібрана з основною збіркою

### **Збирання з'єднувального пальця (Link Pin)**

Після збирання підзбірки з основною збіркою потрібно зібрати з'єднувальний палець з основною збіркою.

1. Розмістіть Link Pin у поточному середовищі збірки. Зберіть Link Pin з основною збіркою, використовуючи необхідні з'єднання. На рисунку 8.55 показано перший екземпляр Link Pin, зібраний із основною збіркою.

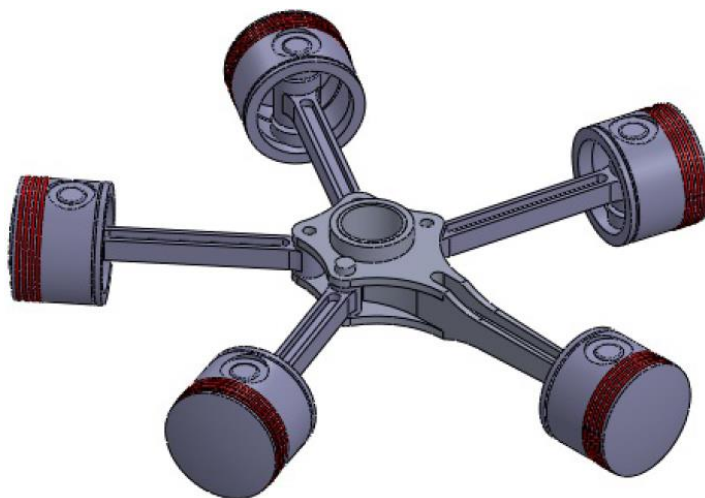


Рисунок 8.55 – Перший екземпляр Link Pin, зібраний із основною збіркою

Як зазначалося раніше, інші екземпляри Link Pin будуть зібрані за допомогою елементів отворів "шаблон, керований шаблоном" (**Pattern-Driven Component Pattern**), створених на лівій стороні головного шатуна.

2. Виберіть кнопку **Pattern Driven Component Pattern** у випадаючому меню **Linear Component Pattern** на панелі **Assembly CommandManager** (див. рис. 8.56); відкриється вікно **Pattern Driven PropertyManager**.

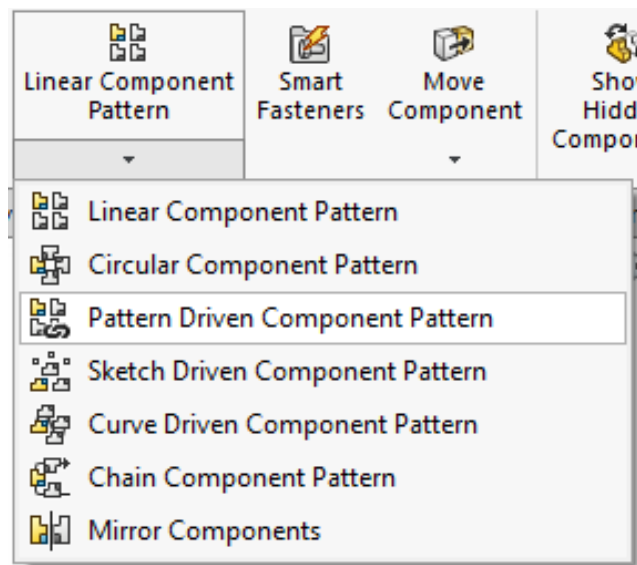


Рисунок 8.56 – Кнопка Pattern Driven Component Pattern

Інструмент **Pattern Driven Component Pattern** використовується для створення шаблону екземплярів компонентів на основі вже існуючого шаблону елемента, створеного під час створення компонента в середовищі **Part**.

3. Виберіть Link Pin з основної збірки; його назва відобразиться у полі вибору **Components to Pattern**.

4. Клацніть один раз у полі вибору **Driving Feature or Component**, щоб активувати режим вибору.

5. Виберіть будь-який з екземплярів отвору на **Master Rod**; назва шаблонної функції з'явиться у полі вибору **Driving Feature or Component**, а в графічній зоні відобразиться попередній вигляд шаблону.



6. Якщо екземпляри розташовані неправильно, виберіть кнопку **Select Seed Position** (Вибрати початкове положення) і виберіть правильну початкову функцію.

7. Натисніть кнопку **OK** у вікні **Pattern Driven PropertyManager**. На рисунку 8.57 продемонстровано фінальну збірку.

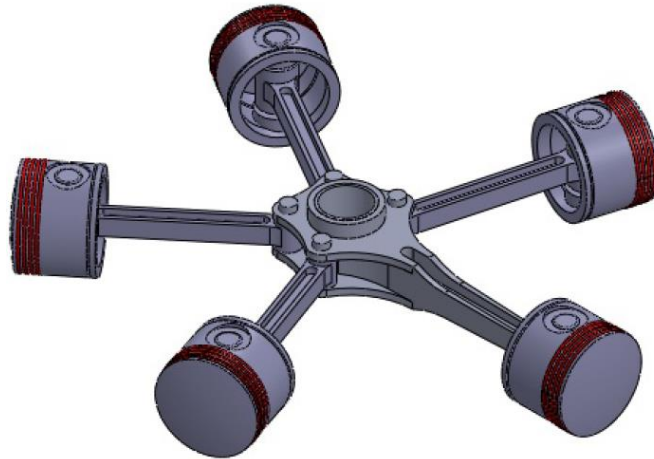


Рисунок 8.57 – Фінальна збірка для Завдання 2

### ***Примітка***

*Кількість екземплярів шаблону компонента автоматично змінюється, якщо ви змінюєте кількість екземплярів шаблону елемента, який використовувався для створення шаблону компонента. Це свідчить про асоціативну природу похідного шаблону компонента.*

### **Рознесений вигляд збірки (Exploding the Assembly)**

Після створення збірки потрібно створити її рознесений вигляд за допомогою інструмента **Exploded View**. Ви можете рознести підзбірку, і це буде відображено в основній збірці.

1. Відкрийте підзбірку **Piston Articulate Rod Sub-assembly** у окремому графічному вікні. Для цього виберіть **Piston Articulation Rod Sub-assembly** у дереві **FeatureManager Design Tree**; відобразиться спливаюча панель інструментів. Потім виберіть кнопку **Open Subassembly** (Відкрити підзбірку), щоб відкрити її в окремому графічному вікні.



2. Виберіть кнопку **Exploded View** у панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Explode PropertyManager**. Переконайтеся, що всі прапорці у вікні **PropertyManager** зняті.

Інструмент **Exploded View** використовується для створення рознесеного виду збірки.

3. Виберіть верхню грань компонента **Piston Pin Plug** (Заглушка пальця поршня); відобразиться триада (див. рис. 8.58).

4. Виберіть стрілку триади, яка перпендикулярна до вибраної площини.

5. У полі **Explode Distance** встановіть значення 170 і натисніть кнопку **Apply**; вибрані екземпляри компонента **Piston Pin Plug** будуть рознесені, а компоненти будуть видалені з набору вибору. Послідовність рознесення буде відображена як **Explode Step1** у списку **Existing explode steps** розділу **Explode Steps**.

6. Якщо компонент **Piston Pin Plug** переміщено вниз, виберіть кнопку **Reverse direction** ліворуч від поля **Explode Direction** у розділі **Settings**, а потім натисніть **Done**. На рисунку 8.59 показано підзбірку після рознесення компонента **Piston Pin Plug**.

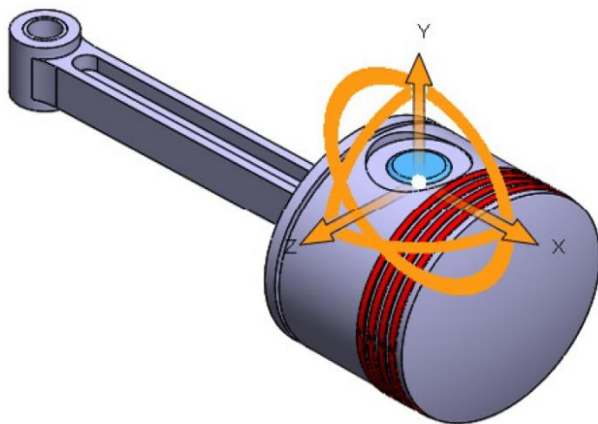


Рисунок 8.58 – Триада, відображена після вибору верхньої грані **Piston Pin Plug**

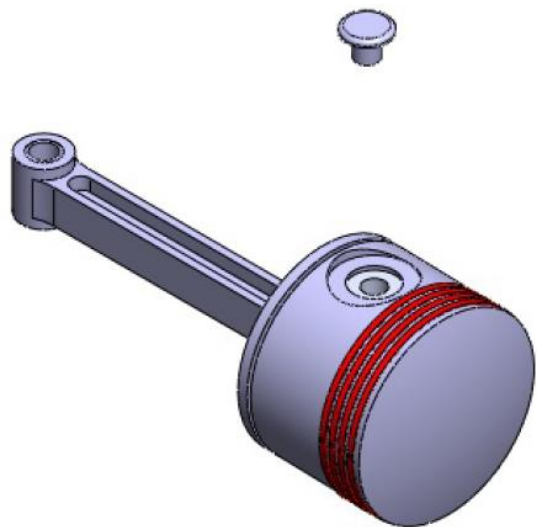


Рисунок 8.59 – Підзбірка після рознесення **Piston Pin Plug**

Тепер потрібно рознести компонент Piston Pin.

7. Виберіть верхню площину компонента Piston Pin у графічній зоні; відобразиться триада.

8. Виберіть стрілку триади, яка перпендикулярна до вибраної площини.

9. У полі **Explode Distance** встановіть значення 150 і натисніть кнопку Apply; вибрані екземпляри компонента Piston Pin будуть рознесені. Послідовність рознесення буде відображена як **Explode Step2** у списку **Existing explode steps**.

10. Якщо Piston Pin переміщено вниз, виберіть кнопку **Reverse direction**, а потім натисніть **Done**.

### *Порада*

*Коли триада відображена під час вибору грані, можна перетягнути стрілку триади, щоб перемістити компонент.*

11. Аналогічно рознесіть інші компоненти підзбірки (рис. 8.60).

12. Збережіть підзбірку та відкрийте документ основної збірки. Відобразиться повідомлення SOLIDWORKS про зміну моделей у збірці з пропозицією перебудови. Натисніть **Yes**, щоб зберегти та перебудувати підзбірку.

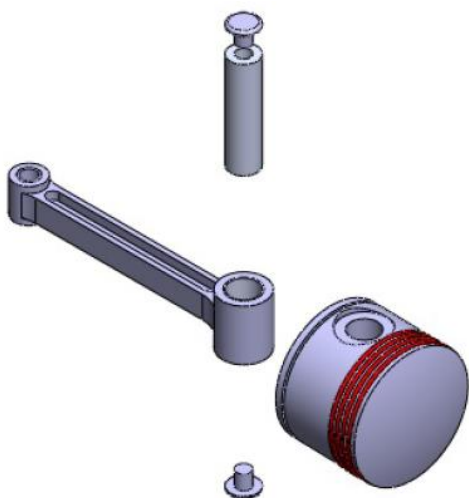


Рисунок 8.60 – Підзбірка після рознесення компонентів

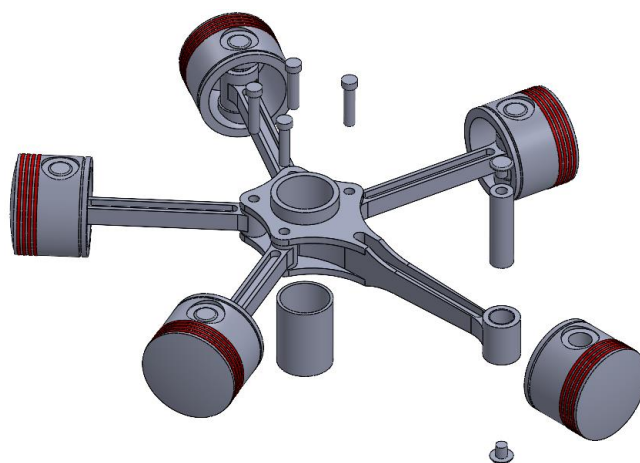


Рисунок 8.61 – Вид після рознесення компонентів основної збірки

13. Виберіть кнопку **Exploded View** у панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Explode PropertyManager**. Переконайтеся, що всі прапорці зняті.

14. Рознесіть компоненти основної збірки, як показано на рисунку 8.61.

Тепер потрібно рознести компоненти інших підзбірок у документі основної збірки.

15. Виберіть усі підзбірки у графічній зоні та натисніть кнопку **Reuse Subassembly Explode** у вікні **Explode PropertyManager**; усі підзбірки будуть рознесені.

Кнопка **Reuse Subassembly Explode** використовується для повторного використання кроків рознесення підзбірки в поточній збірці.

16. Натисніть **OK**, щоб вийти з вікна **Explode PropertyManager**. На Рисунку 8.62 показано збірку після рознесення компонентів.



Рисунок 8.62 – Фінальна рознесена збірка

### Створення ескізу ліній рознесення

Після рознесення збірки потрібно створити ескіз ліній рознесення для рознесеного виду збірки.

1. Виберіть кнопку **Explode Line Sketch** у панелі **Assembly CommandManager**; відкриється вікно **Route Line PropertyManager**, і вам буде запропоновано вибрати циліндричну грань, площину, вершину, точку, дугу або лінійні елементи.

Інструмент **Explode Line Sketch** використовується для створення ліній рознесення. Лінії рознесення є параметричними осями, які показують напрямок рознесення компонентів.

2. Виберіть кнопку **Keep Visible**, якщо вона не вибрана автоматично, щоб залишити вікно **PropertyManager** видимим на екрані.

3. Виберіть циліндричну грань компонента **Piston Pin Plug** (див. рис. 8.63), як перший вибір; назва вибраної грані буде відображена у полі **Items To Connect**. У центрі вибраної грані відобразиться попередній вигляд ескізу лінії рознесення.

4. Виберіть інші циліндричні грані, щоб створити ескіз лінії рознесення (див. рис. 8.63).

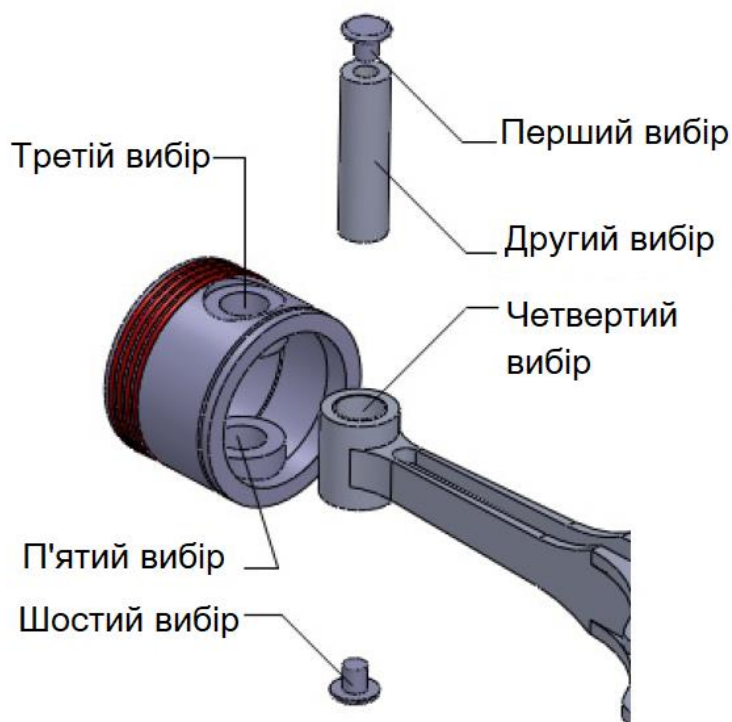


Рисунок 8.63 – Грані для вибору під час створення ескізу лінії рознесення

5. Натисніть **ОК**, щоб створити лінію рознесення.

6. Аналогічно створіть лінії рознесення між іншими частинами рознесеної збірки. На рисунку 8.64 показано збірку після створення ескізу лінії рознесення.

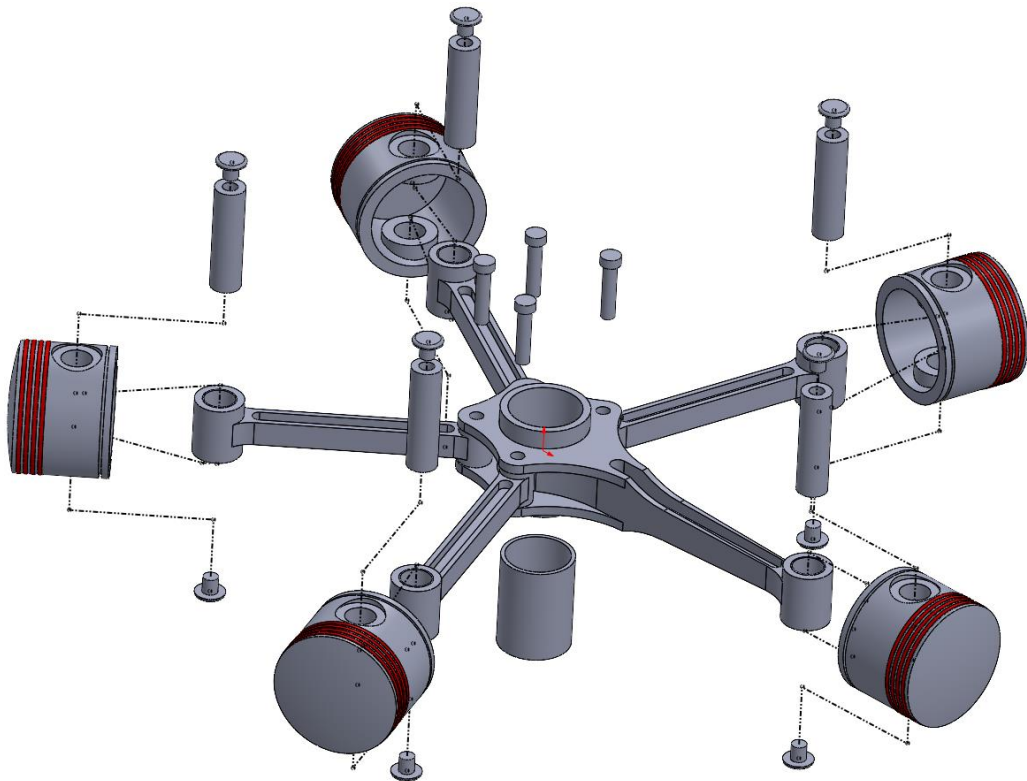


Рисунок 8.64 – Ескіз лінії рознесення для рознесеного стану збірки

Тепер анімуйте рознесений вигляд збірки.

7. Виберіть назву основної збірки в дереві **FeatureManager Design Tree** і клацніть правою кнопкою миші; відобразиться контекстне меню.

8. Виберіть опцію **Animate collapse** (Анімувати рознесення) у контекстному меню, щоб переглянути анімацію рознесеного вигляду.

9. Збережіть і закрийте документ збірки.

## Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняються підходи "знизу вгору" (Bottom-up) та "зверху вниз" (Top-down) у створенні збірок?
2. Що таке Mates і як вони впливають на ступені свободи компонентів у збірці?
3. Як фіксується перший компонент у збірці, і як змінити його стан на "плаваючий"?
4. Як використовуються інструменти Insert Components та Mate під час додавання компонентів до збірки?
5. Які символи використовуються в дереві FeatureManager для позначення стану компонентів?
6. Як створити підзбірку в SolidWorks і зібрати її з основною збіркою?
7. Як створити рознесений вигляд збірки за допомогою інструмента Exploded View?
8. Як створити анімацію рознесеного вигляду збірки?
9. Як змінити зовнішній вигляд компонентів у збірці, наприклад, колір?
10. Які переваги надає асоціативність шаблонів компонентів у збірках?

## Практичне завдання

Створіть усі компоненти для збірки кріплення та зберіть їх разом. Збірка кріплення показана на рисунку 8.65.

Після створення збірки виконайте її рознесений вид та створіть ескіз ліній для рознесення, як показано на рисунку 8.66.

Вигляди та розміри різних компонентів цієї збірки наведені на рисунках 8.67 – 8.71.

***Примітка.** Усі розміри наведені в дюймах.*

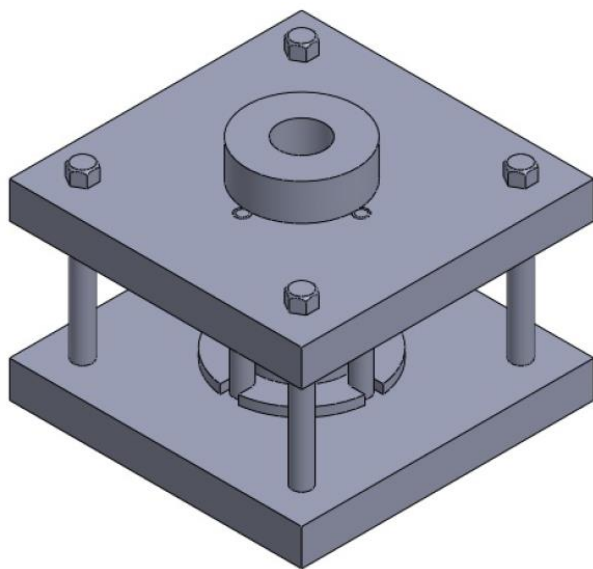


Рисунок 8.65 – Збірка кріплення

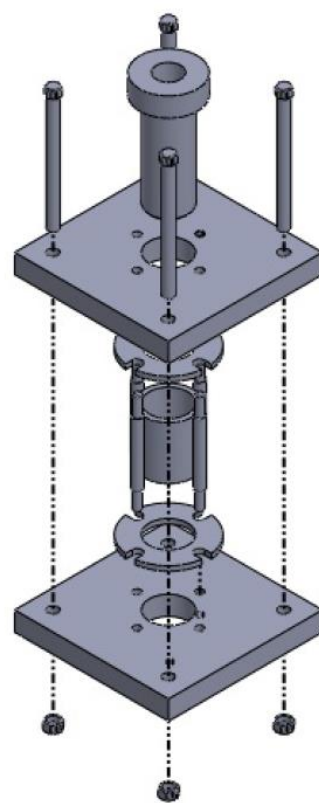


Рисунок 8.66 – Ескіз ліній рознесення

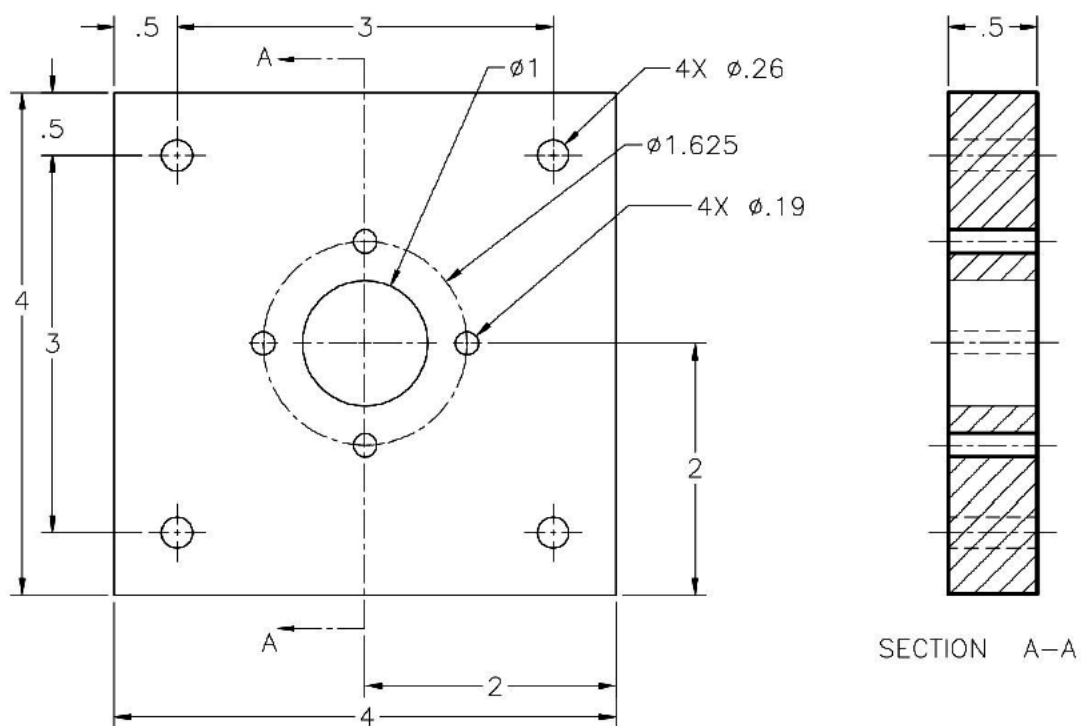


Рисунок 8.67 – Розміри торцевої пластини

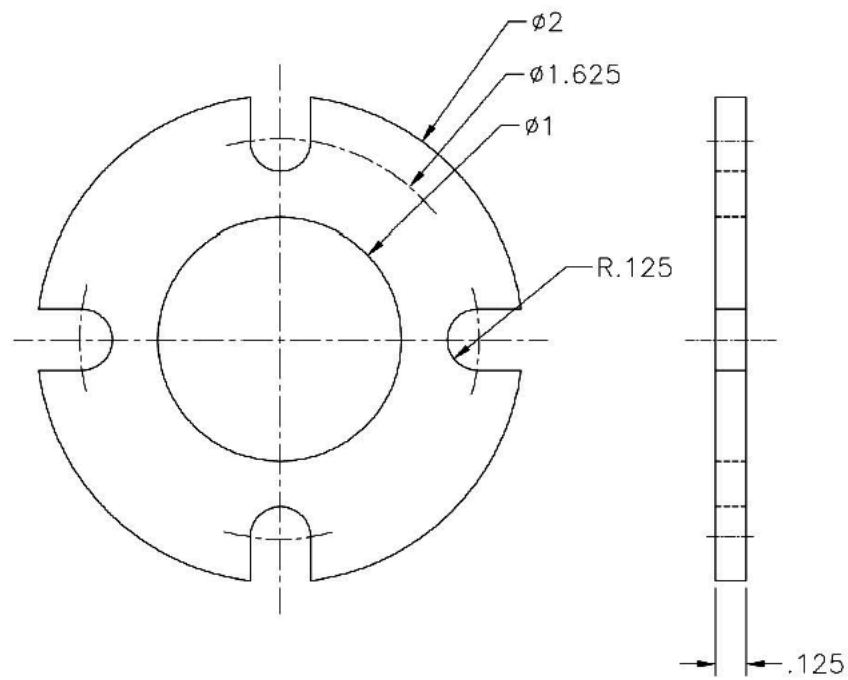


Рисунок 8.68 – Розміри диска

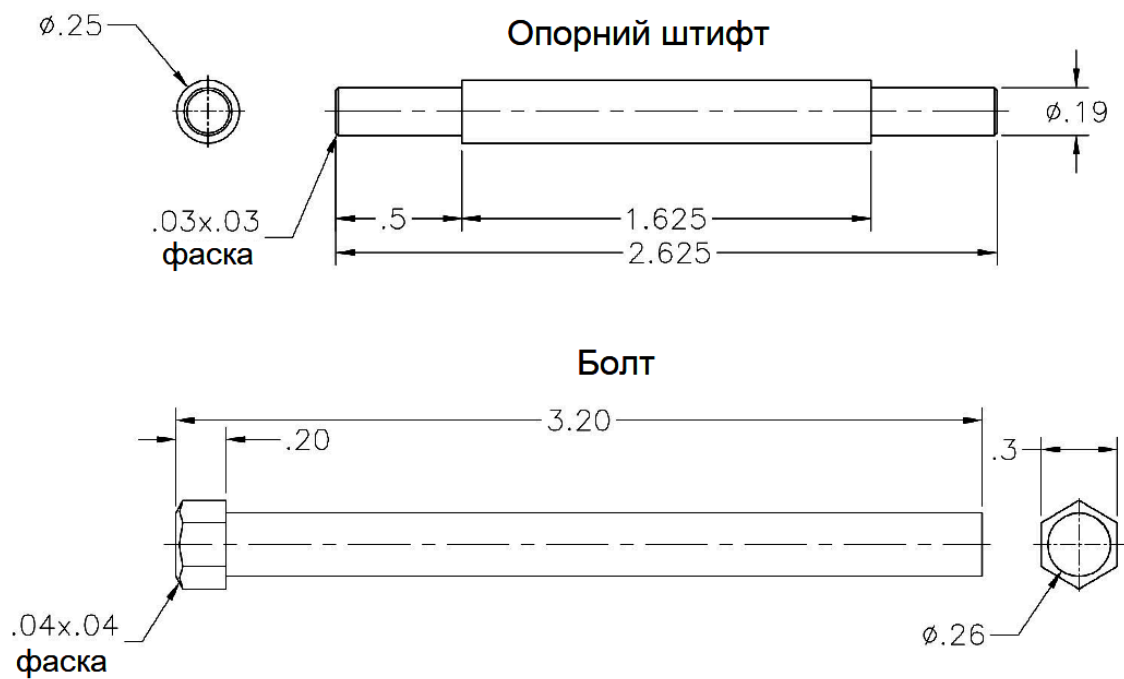


Рисунок 8.69 – Розміри опорного штифта та болта



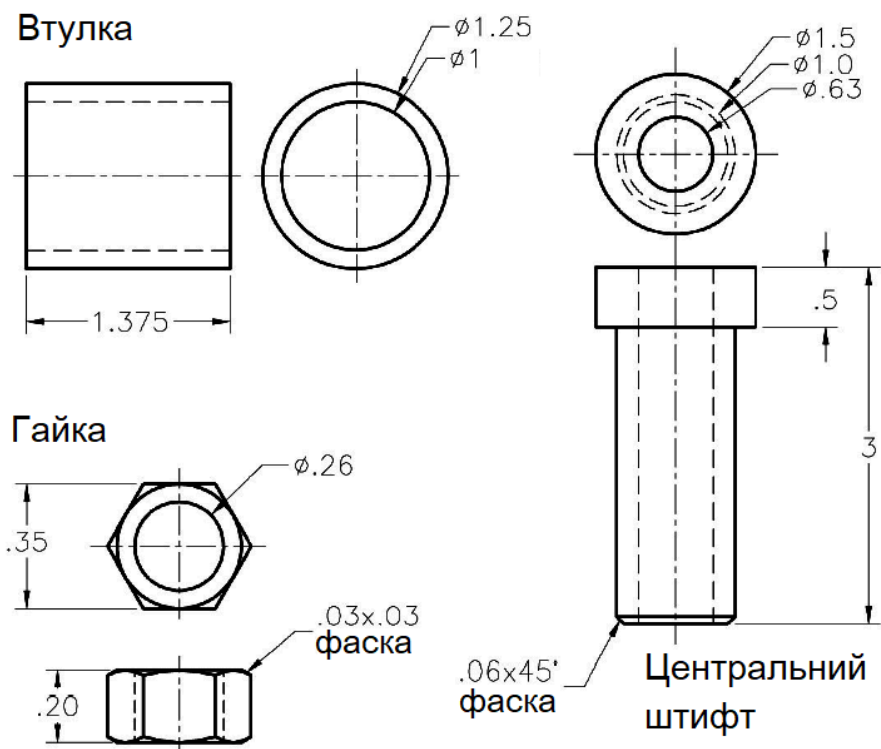


Рисунок 8.70 – Розміри втулки, центрального штифта та гайки

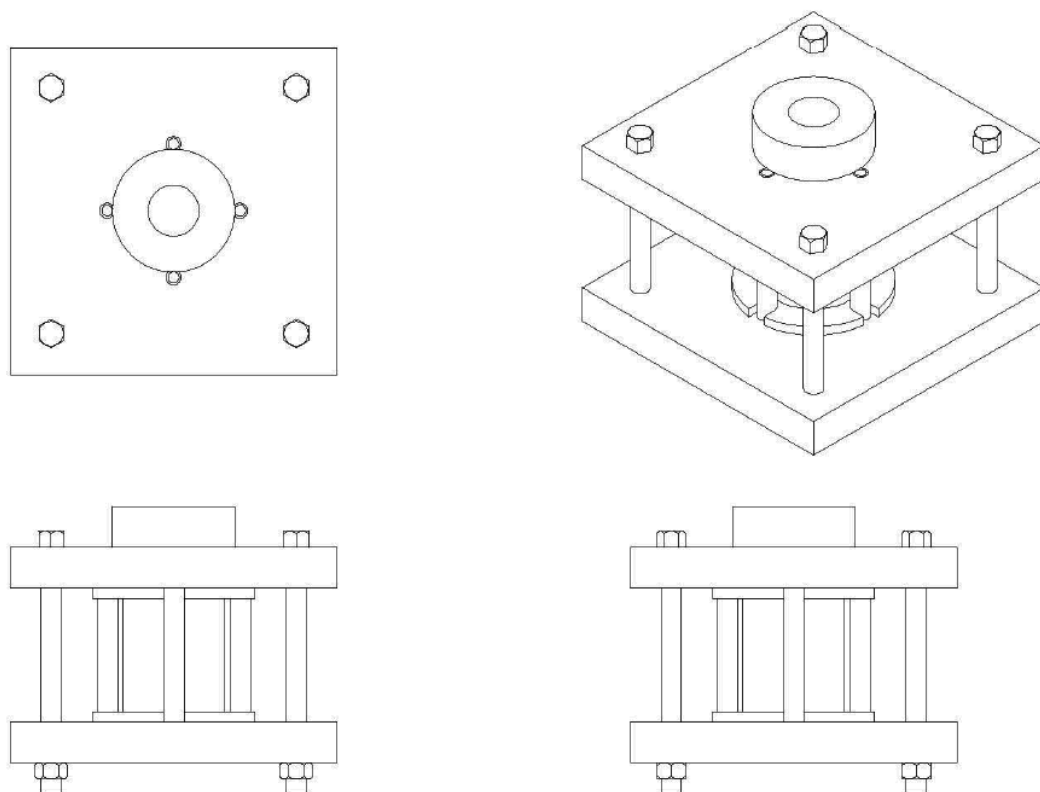


Рисунок 8.71 – Види креслення збірки кріплення

## **9 ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ НА МІЦНІСТЬ ЗА ДОПОМОГОЮ CAD/CAE**

### **9.1 Вступ**

Чисельні експерименти за допомогою CAD/CAE програмного забезпечення відкривають нові можливості для аналізу й оптимізації інженерних рішень. Використання систем інженерного аналізу дозволяє суттєво скоротити витрати часу і ресурсів на проектування, забезпечуючи точні результати завдяки моделюванню різних фізичних процесів.

CAE-системи, інтегровані з CAD, надають широкий спектр функціональних можливостей, включаючи моделювання впливу навантажень, вивчення поведінки матеріалів, аналіз теплових процесів, а також оптимізацію конструкцій відповідно до заданих вимог. Інтеграція аналізу з процесом проектування дозволяє швидко виявляти потенційні недоліки конструкції та знаходити шляхи їх усунення на ранніх етапах розробки.

У цьому розділі основна увага приділена використанню модулю SOLIDWORKS Simulation для проведення чисельного аналізу. Також детально описано процес активації модулю, принципи роботи в ньому та загальні підходи до виконання аналізів, які є важливими для забезпечення ефективного інженерного проектування.

### **9.2 Початок роботи з SOLIDWORKS Simulation**

SOLIDWORKS Simulation – це система аналізу, повністю інтегрована із SOLIDWORKS.

SOLIDWORKS Simulation оснащено швидкими розв’язувачами, які дозволяють вирішувати навіть найскладніші завдання аналізу у короткі терміни. У SOLIDWORKS Simulation можна виконувати різні типи аналізів, такі як статичний аналіз, частотний аналіз, аналіз стійкості, тепловий аналіз, аналіз сценаріїв проектування, аналіз на втому та аналіз оптимізації.

Щоб почати працювати з SOLIDWORKS Simulation, необхідно встановити SOLIDWORKS і SOLIDWORKS Simulation.

Після встановлення програмного забезпечення двічі клацніть на значку SOLIDWORKS; відкриється вікно SOLIDWORKS, а на правій панелі з'явиться завдання **SOLIDWORKS Resources**, як показано на рисунку 9.1.

Зверніть увагу, що за замовчуванням інструменти SOLIDWORKS Simulation не додаються в робоче середовище SOLIDWORKS. Щоб активувати SOLIDWORKS Simulation, виберіть **Tools** (Інструменти) у меню SOLIDWORKS; відкриється меню. Виберіть **Add-Ins** (Додатки) у цьому меню; відкриється вікно **Add-Ins**. Виберіть обидва прапорці перед і позаду SOLIDWORKS Simulation у вікні **Add-Ins** і натисніть **OK**. Далі відкрийте новий файл деталі за допомогою діалогового вікна **New SOLIDWORKS Document**. Зверніть увагу, що тепер у меню SOLIDWORKS додано меню **Simulation**, а в **CommandManager** додано вкладку **Simulation**.

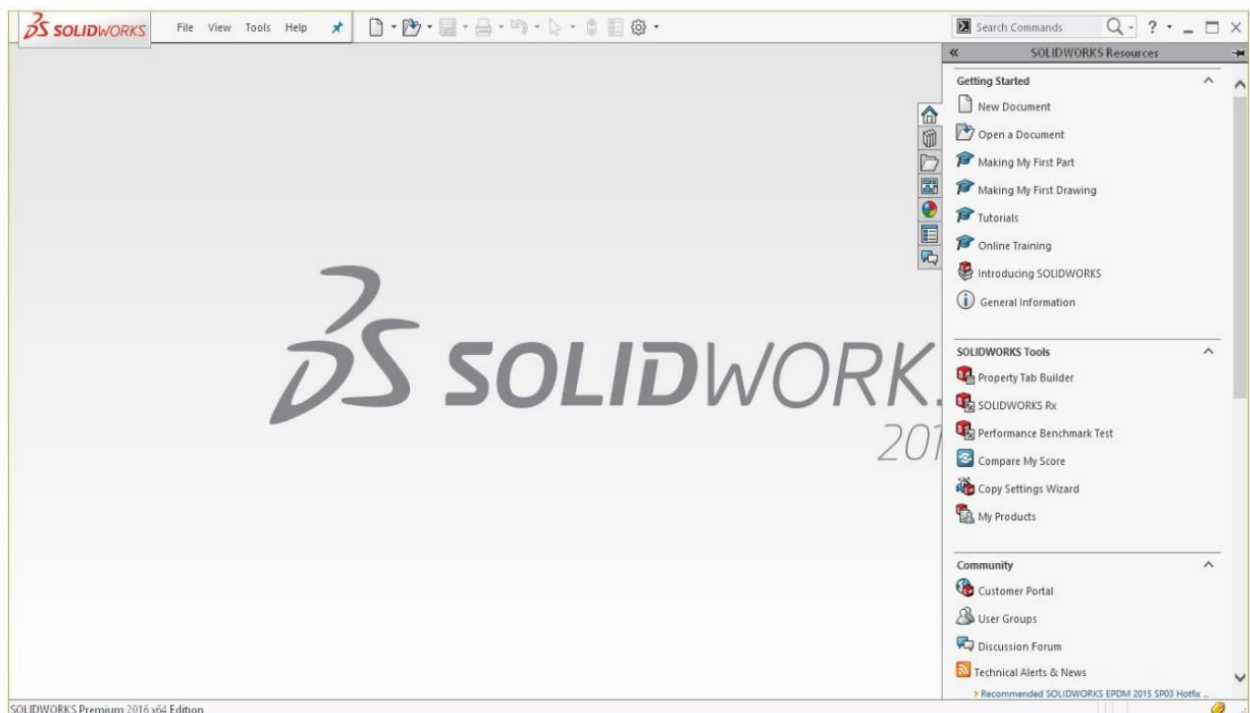


Рисунок 9.1 – Вікно SOLIDWORKS

### 9.3 Статичні дослідження у SOLIDWORKS Simulation

#### Завдання 1

У цьому завданні розглядається прямокутна пластина з легованої сталі з вирізом. Розміри та граничні умови пластини показані на рисунку 9.2. Один край зафіксовано, а на інший прикладено навантаження. При заданих навантаженнях і обмеженнях потрібно побудувати деформовану форму. Також необхідно визначити основні напруження та напруження фон Мізеса.

У цьому завданні буде розглянуто два випадки аналізу для прямокутної пластини.

- У *Випадку 1* буде прикладено рівномірне навантаження 15 lbf на один кінець пластини.
- У *Випадку 2* буде прикладено навантаження 1 lbf на обидва кути правого краю пластини та 5 lbf у середині правого краю.

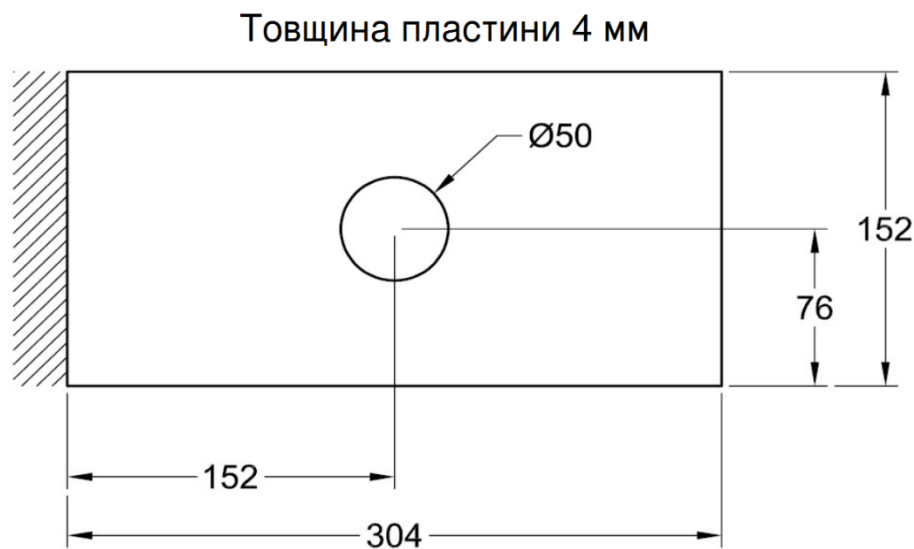


Рисунок 9.2 – Розміри та граничні умови пластини

#### Необхідні кроки для виконання завдання:

- Додати SOLIDWORKS Simulation у середовище SOLIDWORKS і створити новий файл деталі.
- Створити модель, як показано на рисунку 9.3.

- в) Розпочати нове статичне дослідження.
- г) Задати матеріал.
- д) Застосувати обмеження та навантаження.
- е) Створити сітку та запустити аналіз.
- ж) Переглянути результати.
- з) Створити нове дослідження.
- и) Згенерувати звіт.
- к) Порівняти звіти.

### Додавання **SOLIDWORKS Simulation** до середовища **SOLIDWORKS** і створення нового файлу деталі

1. Запустіть **SOLIDWORKS**, а потім виберіть **Tools > Add-Ins** (Інструменти > Додатки) у меню **SOLIDWORKS**; відкриється вікно **Add-Ins**. Далі виберіть прапорці зліва та справа від **SOLIDWORKS Simulation**, а потім натисніть **OK**.

2. Створіть новий файл деталі за допомогою діалогового вікна **New SOLIDWORKS Document**. Зверніть увагу, що меню **Simulation** додано в меню **SOLIDWORKS**, а вкладку **Simulation** додано в **CommandManager**.

### Створення моделі для аналізу

1. Створіть прямокутну пластину, як показано на рисунку 9.3. Всі необхідні розміри приведено на рисунку 9.2.

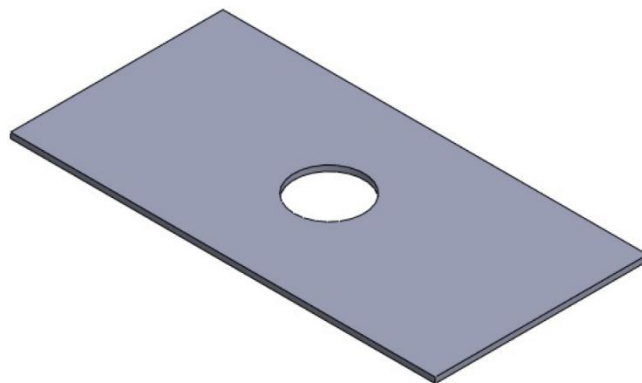


Рисунок 9.3 – Модель для аналізу

## Початок нового дослідження

Оскільки потрібно визначити основні напруження та напруження фон Мізеса, необхідно розпочати статичний аналіз.

1. Виберіть вкладку **Simulation** у **CommandManager**; відкриється **Simulation CommandManager**, як показано на рисунку 9.4.



Рисунок 9.4 – Simulation CommandManager

## Примітка

*Якщо вкладка **Simulation** не додана у **CommandManager** за замовчуванням, можна налаштувати її. Для цього клацніть правою кнопкою миші на будь-якій вкладці у **CommandManager**; з'явиться контекстне меню. Виберіть **Simulation** у цьому меню; вкладка **Simulation** буде додана до **CommandManager**.*

2. Виберіть інструмент **New Study** (Нове дослідження) із розділу **Study Advisor** (Порадник досліджень) у **Simulation CommandManager**, як показано на рисунку 9.5; відкриється вікно **Study PropertyManager** (див. рис. 9.6).

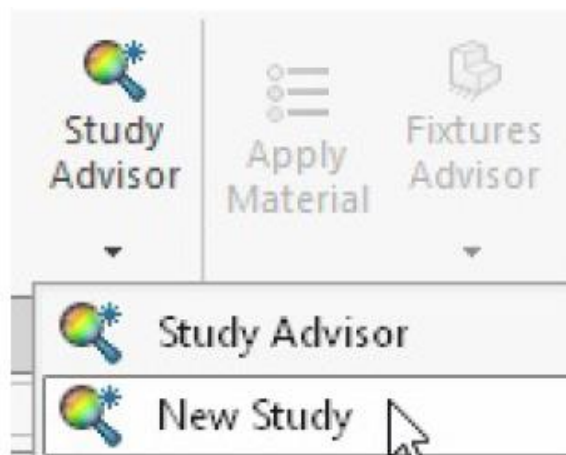


Рисунок 9.5 – Інструмент Study Advisor

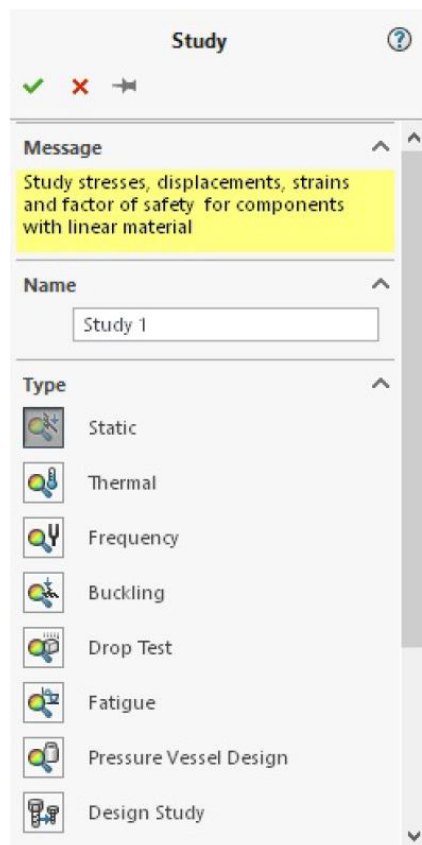


Рисунок 9.6 – Study PropertyManager

**Study PropertyManager** дозволяє виконувати нові симуляційні дослідження. За допомогою цього PropertyManager можна виконувати такі типи досліджень:

- **Static study** (Статичне дослідження): для розрахунку реакції тіл, на які повільно прикладаються навантаження.
- **Frequency study** (Частотне дослідження): для визначення власних частот і форм коливань тіл.
- **Buckling study** (Дослідження стійкості): для розрахунку стійкості і критичних навантажень втрати стійкості тіл.
- **Thermal study** (Теплове дослідження): для визначення розподілу температур у тілах через теплопровідність, конвекцію і випромінювання.
- **Drop test study** (Дослідження удару): для оцінки впливу падіння деталі або збірки на жорстку або гнучку поверхню.
- **Fatigue study** (Дослідження втоми): для визначення загального ресурсу, пошкоджень і коефіцієнтів навантаження через циклічне навантаження.

- **Nonlinear study** (Нелінійне дослідження): для розрахунку нелінійної реакції тіл через прикладені навантаження.

- **Linear dynamic study** (Лінійно-динамічне дослідження): для визначення реакції тіл через акумулювання внеску кожного модального стану в навантажувальне середовище. У цьому типі дослідження навантаження не прикладаються повільно та змінюються з часом або частотою.

3. Виберіть кнопку **Static** (Статичне), якщо вона ще не вибрана, і введіть назву дослідження як **Case-1** (Випадок 1) у полі **Name** (Назва) в **PropertyManager**. Далі натисніть **OK**; у **FeatureManager Design Tree** з'явиться новий вузол із назвою **Case-1** (рис. 9.7).

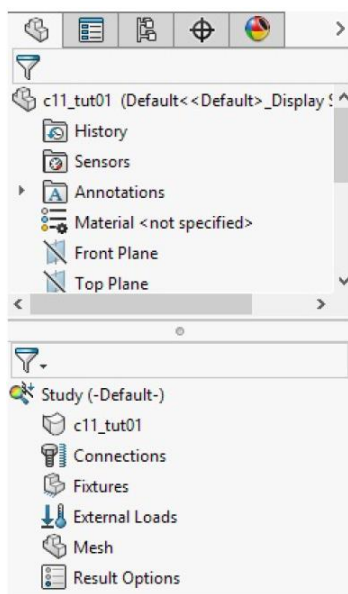


Рисунок 9.7 – Дерево проектування FeatureManager

### Застосування матеріалу

Тепер необхідно застосувати матеріал **Alloy Steel** (легована сталь) до прямокутної пластини.

1. Виберіть інструмент **Apply Material** (Застосувати матеріал) у **Simulation CommandManager**; відкриється діалогове вікно **Material**.

2. Розгорніть вузол **SOLIDWORKS Materials** (Матеріали SOLIDWORKS) у діалоговому вікні **Material**. Потім розгорніть підрозділ **Steel** (Сталь) і виберіть



матеріал **Alloy Steel**. Усі властивості вибраного матеріалу будуть відображені праворуч у діалоговому вікні.

3. Натисніть кнопку **Apply** у діалоговому вікні; матеріал **Alloy Steel** буде застосовано до моделі. Далі закрийте діалогове вікно **Material**.

### Застосування обмежень

Після застосування матеріалу до моделі необхідно зафіксувати одну зі сторін моделі.

1. Виберіть інструмент **Fixed Geometry** (Фіксована геометрія) із розділу **Fixtures Advisor** (Порадник фіксації) у **Simulation CommandManager**, як показано на рисунку 9.8; відкриється **Fixture PropertyManager**.

2. Переконайтеся, що кнопка **Fixed Geometry** обрана в розділі **Standard (Fixed Geometry)** (Стандартна, Фіксована геометрія) у **PropertyManager**.

3. Поверніть модель таким чином, щоб ви могли вибрати ліву сторону моделі. Виберіть ліву сторону моделі; обрана сторона буде зафіксована, а на ній з'явиться відповідне позначення, як показано на рисунку 9.9.

4. Натисніть кнопку **OK** у **PropertyManager**; обрана сторона буде зафіксована.

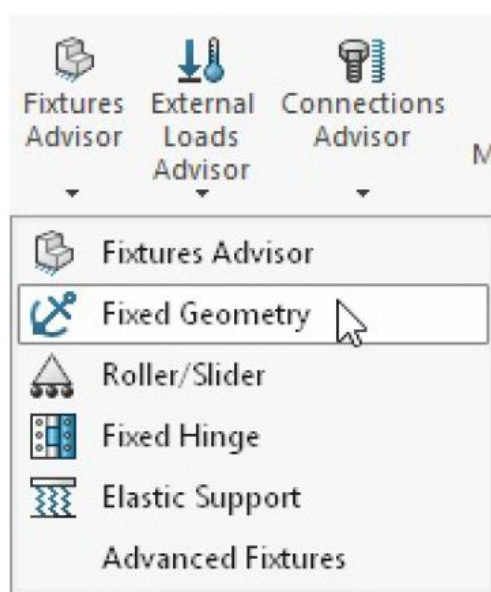


Рисунок 9.8 – Панель Fixtures Advisor

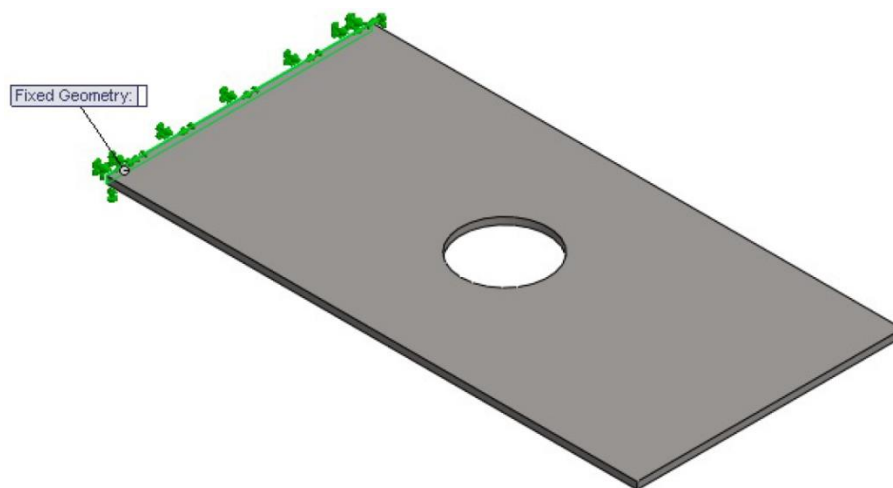


Рисунок 9.9 – Вибрана ліва грань моделі

### Застосування навантажень

Після застосування матеріалу та обмежень до моделі необхідно прикласти рівномірне навантаження уздовж правого краю моделі у вертикально вниз напрямку.

1. Виберіть інструмент **Force** (Сила) із розділу **External Loads Advisor** (Порадник зовнішніх навантажень) у **Simulation CommandManager**, як показано на рисунку 9.10; відкриється **Force/Torque PropertyManager** ліворуч у графічній області.

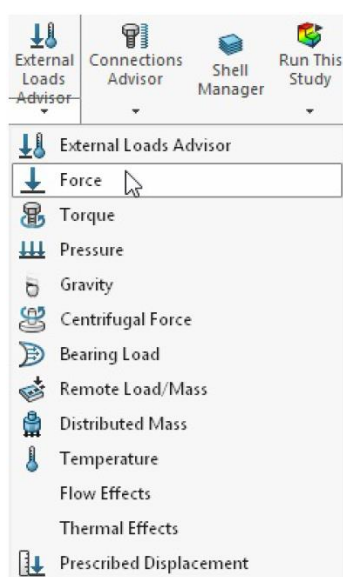


Рисунок 9.10 – Панель External Loads Advisor

2. Переконайтеся, що кнопка **Force** обрана в розділі **Force/Torque** у PropertyManager.

3. Виберіть верхній правий край моделі для прикладання сили, як показано на рисунку 11-20; сила буде прикладена до вибраного краю. Також на вибраному краю з'явиться відповідне позначення.

Тепер потрібно вказати напрямок сили.

4. Виберіть перемикач **Selected direction** (Обраний напрямок) у розділі **Force/Torque** у PropertyManager; з'явиться поле **Face, Edge, Plane for Direction** (Поверхня, край, площина для напрямку).

5. Виберіть вертикальний край моделі, щоб задати напрямок сили вниз. За потреби змініть напрямок сили, встановивши прапорець **Reverse direction** (Змінити напрямок) у розділі **Force**.

6. У спадному меню **Units** у PropertyManager виберіть **English (IPS)**.

7. У полі **Along Edge** (Вздовж краю) введіть значення 15.

8. Прийміть інші налаштування за замовчуванням і натисніть кнопку **OK** у PropertyManager, щоб застосувати навантаження. На рисунку 9.11 показана модель із застосованими обмеженнями та навантаженнями.

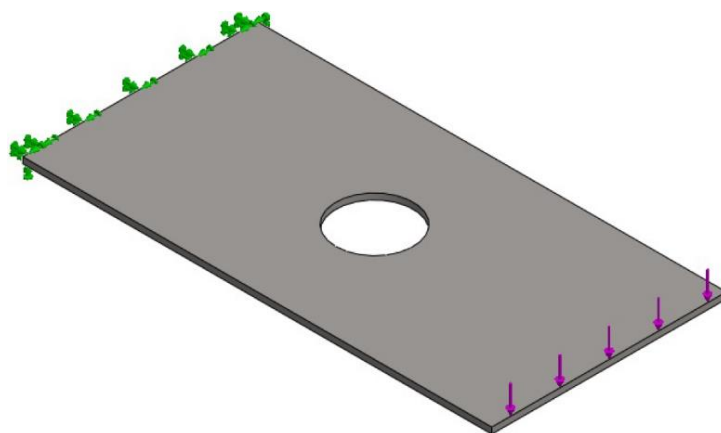


Рисунок 9.11 – Модель після застосування обмежень та навантажень

### Створення сітки

Після застосування обмежень і навантажень необхідно створити сітку.

1. Виберіть інструмент **Create Mesh** (Створити сітку) із розділу **Run This Study** (Запустити це дослідження) у **Simulation CommandManager**, як показано на рисунку 9.12; відкриється **Mesh PropertyManager**.

2. Прийміть усі налаштування за замовчуванням і натисніть кнопку **OK** у **PropertyManager**; сітка буде створена, як продемонстровано на рисунку 9.13.

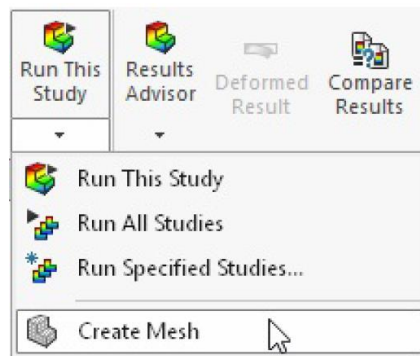


Рисунок 9.12 – Панель Run This Study

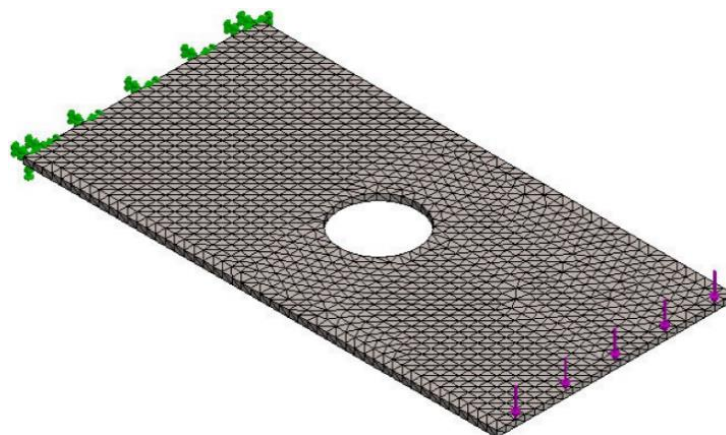


Рисунок 9.13 – Модель після створення сітки

### Запуск аналізу

Після створення сітки необхідно запустити аналіз моделі.

1. Виберіть інструмент **Run This Study** у **Simulation CommandManager**; відкриється вікно для дослідження **Випадок 1 (Case 1)**, і почнеться процес розв'язання моделі методом кінцевих елементів. Після завершення аналізу до **FeatureManager Design Tree** буде додано новий вузол **Results** (Результати). Також у графічній області з'явиться результатна модель із контуром напружень фон Мізеса (рис. 9.14).

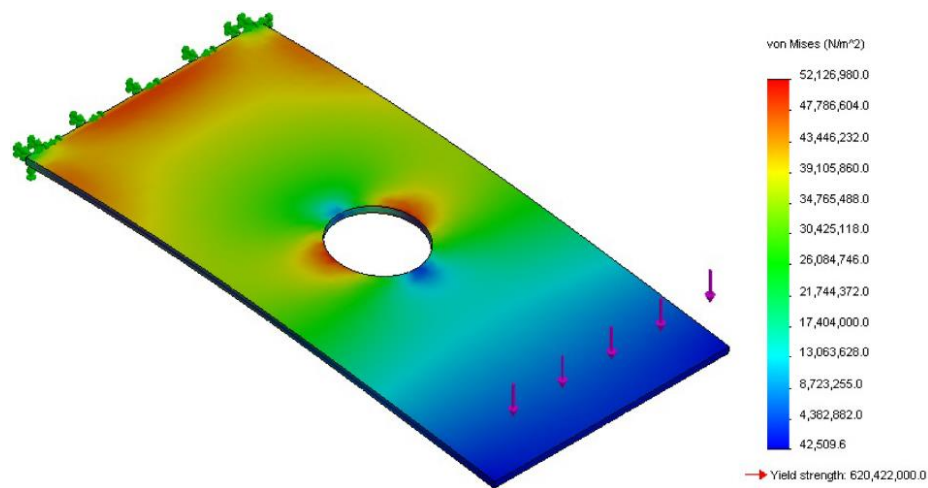


Рисунок 9.14 – Результатна модель із контуром напружень фон Мізеса

### Перегляд результатів

Далі потрібно переглянути контури напружень фон Мізеса та переміщень.

1. Двічі клацніть на **Stress1 (-von Mises-)** у вузлі **Results**, щоб відобразити контур напружень фон Мізеса, якщо він не відображається за замовчуванням, як показано на рисунку 9.14. Області червоного кольору мають максимальні напруження, а області синього кольору – мінімальні.

2. Аналогічно двічі клацніть на **Displacement1 (-Res disp-)** у вузлі **Results**, щоб переглянути контури переміщень. На рисунку 9.15 приведено контур переміщень. Області червоного кольору мають максимальні переміщення, а області синього кольору – мінімальні.

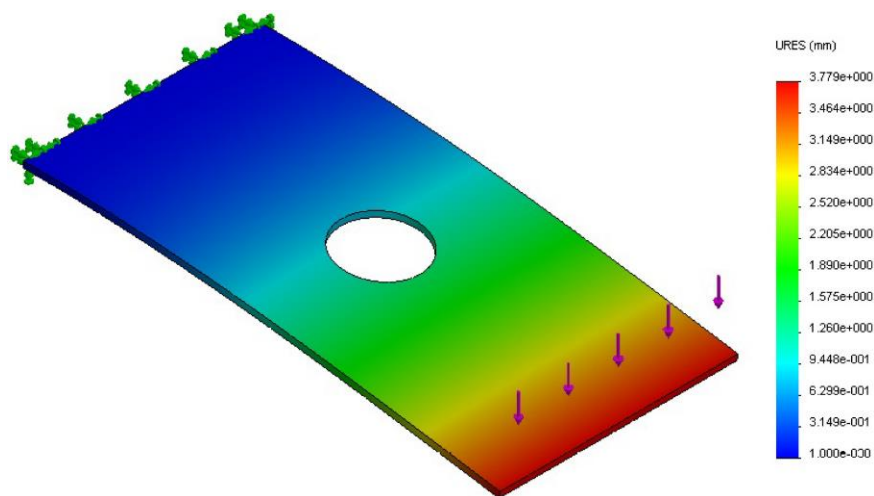


Рисунок 9.15 – Контур переміщень

### **Порада**

*Щоб анімувати контур переміщень, клацніть правою кнопкою миші на **Displacement1 (-Res disp-)** у вузлі **Results**; з'явиться контекстне меню. Виберіть опцію **Animate** (Анімувати) в меню; анімація почнеться з налаштуваннями за замовчуванням. Також на лівій панелі з'явиться **Animation PropertyManager**, у якому можна змінювати налаштування відповідно до ваших вимог.*

### **Створення нового випадку дослідження (New Case Study)**

У SOLIDWORKS Simulation можна створювати кілька досліджень і порівнювати їх між собою. У завданні необхідно продублювати дослідження **Випадок 1 (Case 1)**, щоб створити новий випадок.

1. Клацніть правою кнопкою миші на вкладці **Case 1** у нижній частині екрана; з'явиться контекстне меню.

2. Виберіть **Duplicate** (Дублювати); відкриється діалогове вікно **Define Study Name** (Визначити назву дослідження).

3. Введіть назву дослідження як **Case 2** і натисніть **OK**; усі параметри попереднього дослідження, такі як матеріали, обмеження та навантаження, будуть додані до цього дослідження.

4. Переконайтеся, що дослідження **Case 2** активоване. Далі двічі клацніть на **Force-1** (Сила-1) у вузлі **External Loads** (Зовнішні навантаження); відобразиться **Force/Torque PropertyManager** (Менеджер властивостей сили/моменту).

Тепер потрібно застосувати два навантаження на верхній правий край моделі: одне навантаження величиною 1 lbf на обидва кути і ще одне навантаження величиною 5 lbf у центрі верхнього правого краю.

5. Активуйте область вибору **Faces, Edges, Vertices, Reference Points** у секції **Force/Torque rollout** менеджера властивостей. Далі клацніть правою кнопкою миші та виберіть **Clear Selections** (Очистити вибір) у контекстному меню.

6. Виберіть обидві верхні кутові вершини верхнього правого краю моделі одну за одною, як показано на рисунку 9.16; стрілки, спрямовані вертикально вниз, відобразяться на вибраних вершинах, що вказує на напрямок прикладеної сили. Крім того, на першій вибраній вершині буде прикріплено мітку з величиною прикладеної сили за замовчуванням.

7. Введіть 1 у поле Along Edge у секції **Force rollout** (Розгортка сили); концентроване навантаження величиною 1 lbf буде застосоване до обох вибраних вершин, як показано на рисунку 9.16. Натисніть кнопку **OK** у менеджері властивостей.

Далі потрібно застосувати навантаження величиною 5 lbf до середньої точки верхнього правого краю. Для цього спочатку необхідно створити опорну точку в цьому місці.

8. Викличте **Features CommandManager** і виберіть інструмент **Point** (Точка) із розгортки **Reference Geometry** (Допоміжна геометрія); відкриється **Point PropertyManager** (Менеджер властивостей точки). Далі створіть точку в середині верхнього правого краю, вибравши середню точку й праву грань, а потім закрийте менеджер властивостей.

9. Клацніть правою кнопкою миші на вузлі **External Loads** у **FeatureManager Design Tree** і виберіть **Force** у контекстному меню; відкриється **Force/Torque PropertyManager**.

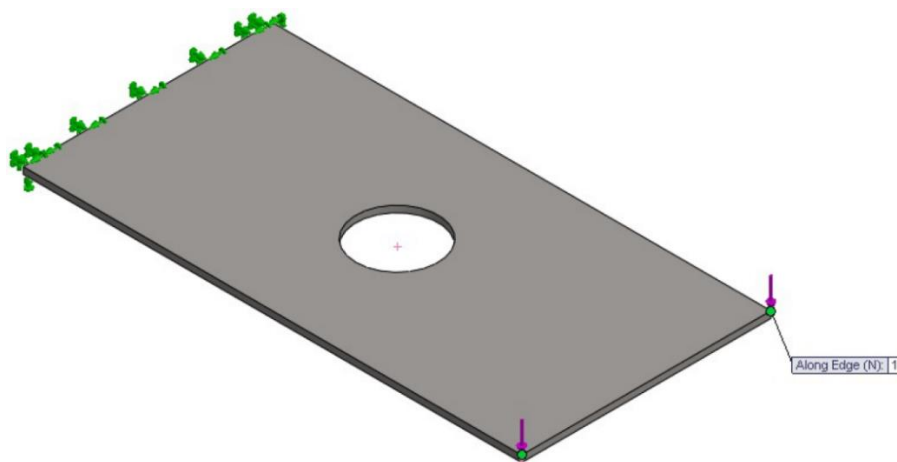


Рисунок 9.16 – Навантаження, прикладене до обох вершин



10. Виберіть точку, створену за допомогою менеджера властивостей **Point**; до вибраної точки буде прикріплено мітку сили із величиною за замовчуванням, як продемонстровано на рисунку 9.17.

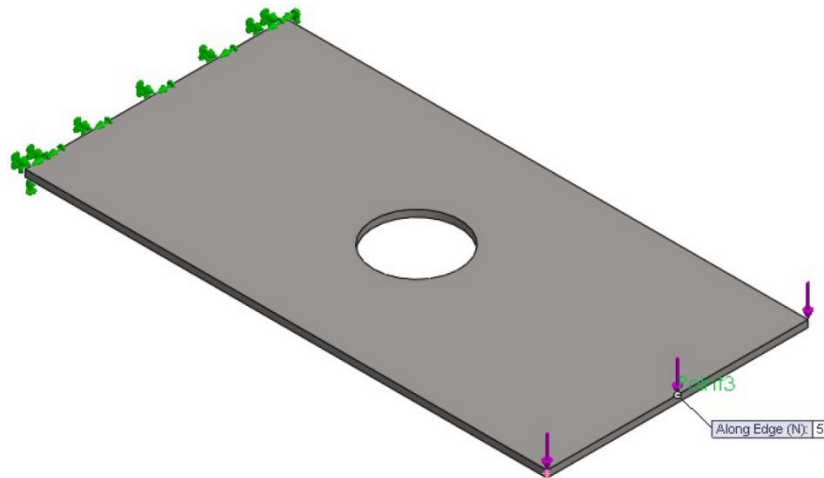


Рисунок 9.17 – Навантаження, прикладене до середньої точки

11. У секції **Force/Torque rollout** менеджера властивостей виберіть параметр **Selected direction** (Вибраний напрямок), а потім виберіть вертикальну грань моделі, щоб вказати вертикальний напрямок сили. Стрілка, спрямована вертикально вниз, з'явиться на вибраній точці, вказуючи напрямок прикладеної сили (див. рис. 9.17).

12. Переконайтеся, що в спадному списку одиниць вимірювання **Units** вибрано **English (IPS)**. Далі введіть 5 lbf як величину сили та натисніть **OK**.

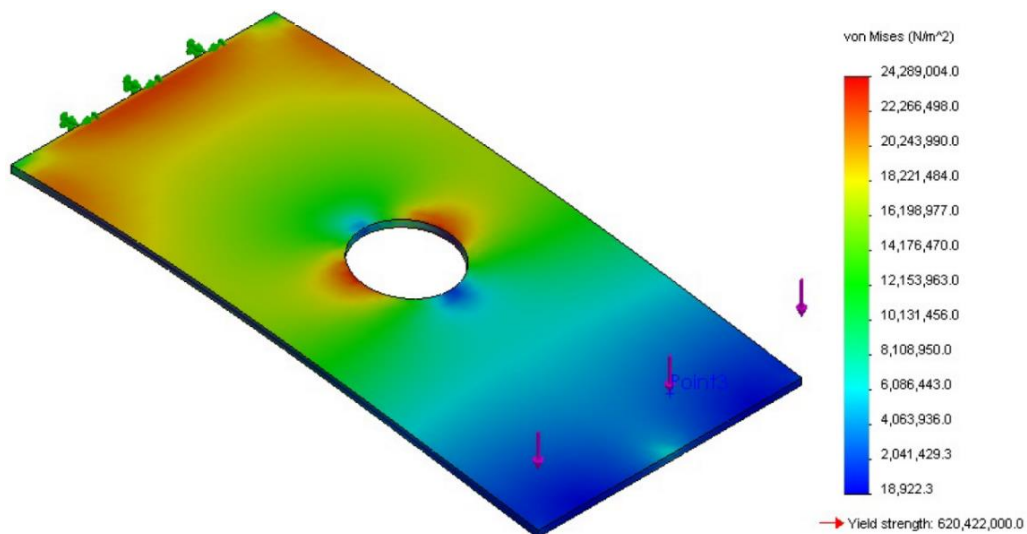


Рисунок 9.18 – Контур напружень фон Мізеса для Випадку 2



13. Запустіть аналіз; вузол **Results** оновиться, і контур напружень фон Мізеса буде відображено в графічній області, як показано на рисунку 9.18. Можна переглянути графіки та порівняти результати з дослідженням **Випадок 1**.

### Генерація звіту

Тепер необхідно створити індивідуальні звіти для Випадку 1 та Випадку 2.

1. Активуйте дослідження **Випадок 1**, клацнувши на вкладці **Випадок 1**, що знаходиться в нижній частині екрана.

2. Виберіть інструмент **Report** (Звіт) у **Simulation CommandManager** (Менеджер команд Simulation); відкриється діалогове вікно **Report Options** (Параметри звіту).

3. У розділі **Report sections** (Розділи звіту) встановіть прапорці для тих розділів, які потрібно додати у звіт.

Також можна додати інформацію в заголовок звіту, наприклад, дані дослідника, назву компанії, URL, логотип тощо. Для цього введіть відповідну інформацію у відповідні поля редагування, які стануть доступними після встановлення відповідних прапорців.

4. Після заповнення всіх необхідних полів у діалоговому вікні **Report Options** натисніть кнопку **Publish** (Опублікувати), щоб створити звіт у форматі Word. Як тільки звіт буде згенеровано, у дереві **FeatureManager Design Tree** з'явиться вузол **Report**.

### *Порада*

*Після закриття звіту ви можете знову відкрити його, двічі клацнувши на його назві у вузлі **Report** у дереві **FeatureManager Design Tree**.*

### Порівняння результатів

Тепер можна порівняти результати досліджень Випадку 1 і Випадку 2 за допомогою інструмента **Compare Results** (Порівняння результатів).

1. Виберіть інструмент **Compare Results** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Compare Results PropertyManager**.

2. У розділі **Options** виберіть перемикач **The current study** (Поточне дослідження); у менеджері властивостей відобразяться всі дослідження поточної моделі. Ліворуч від їх назв буде встановлено прапорці.

Можна виключити дослідження з поточного набору порівняння, знявши прапорці біля їх назв.

Перемикач **The current study** дозволяє порівнювати дослідження, створені в поточній моделі. Якщо необхідно переглянути результати кількох графіків для поточного дослідження моделі, виберіть перемикач **All studies in this configuration** (Усі дослідження в цій конфігурації) у **Compare Results PropertyManager**.

Зверніть увагу, що для відображення у розділених вікнах можна вибрати до чотирьох графіків результатів.

3. Натисніть кнопку **OK** у **Compare Results PropertyManager**; дослідження Випадок 1 і Випадок 2 будуть відображені в одному вікні для порівняння, як показано на рисунку 9.19.

4. Після завершення порівняння обов'язково збережіть модель.

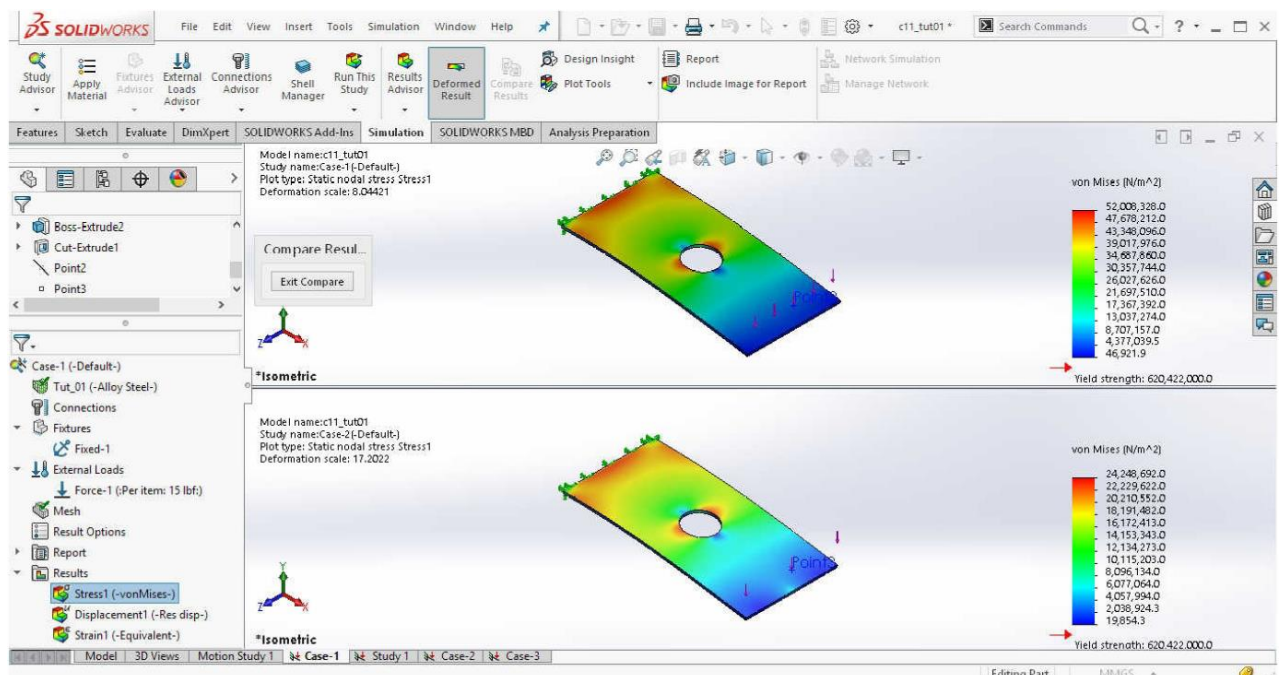


Рисунок 9.19 – Випадки 1 і 2, відображені для порівняння

## Завдання 2

У цьому завданні аналізується вплив навантажень на модель кронштейна (**Bracket**), створену у Завданні 1 із Розділу 5. Граничні умови показані на рисунку 9.20.

Припустимо, що кронштейн виготовлений із матеріалу **Alloy Steel (SS)** (легована сталь) і його задня поверхня зафіксована. Необхідно визначити напруження фон Мізеса під дією навантаження 5 Н.

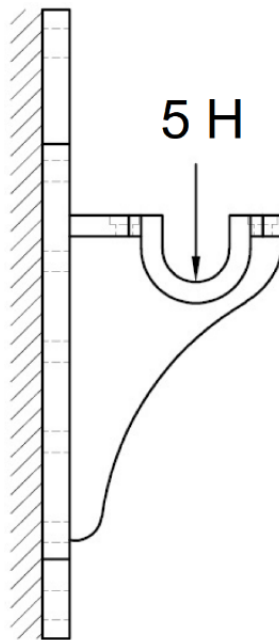


Рисунок 9.20 – Граничні умови кронштейна

### Необхідні кроки для виконання цього завдання:

- а) Відкрити модель, створену у Завданні 1 з Розділу 5, і зберегти її під новою назвою.
- б) Розпочати нове статичне дослідження.
- в) Задати матеріал, обмеження та навантаження.
- г) Створити сітку та запустити аналіз.
- д) Згенерувати звіт.

### Початок нового дослідження

Оскільки потрібно визначити напруження фон Мізеса, необхідно розпочати статичний аналіз.

1. Виберіть вкладку **Simulation** у **CommandManager**; відкриється **Simulation CommandManager**.

2. Виберіть інструмент **New Study** у розділі **Study Advisor**; відкриється **Study PropertyManager**.

3. Виберіть **Static**, якщо він ще не вибраний, і введіть назву дослідження **Bracket** (Кронштейн) у полі **Name** у **PropertyManager**. Далі натисніть **OK**; у **FeatureManager Design Tree** з'явиться новий вузол із назвою **Bracket**.

### **Застосування матеріалу**

Тепер необхідно застосувати матеріал **Alloy Steel (SS)** до моделі.

1. Виберіть інструмент **Apply Material** у **Simulation CommandManager**; відкриється діалогове вікно **Material**.

2. Розгорніть вузол **SOLIDWORKS Materials** у діалоговому вікні **Material**. Далі розгорніть підрозділ **Steel** і виберіть матеріал **Alloy Steel (SS)**. Усі властивості матеріалу будуть відображені праворуч у діалоговому вікні.

3. Натисніть **Apply** у діалоговому вікні; матеріал буде застосовано до моделі. Закрийте діалогове вікно **Material**.

### **Застосування обмежень**

Після застосування матеріалу до моделі необхідно зафіксувати одну із граней моделі.

1. Виберіть інструмент **Fixed Geometry** (Фіксована геометрія) із розділу **Fixtures Advisor** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Fixture PropertyManager** зліва в графічній області.

2. Переконайтеся, що кнопка **Fixed Geometry** вибрана в розділі **Standard (Fixed Geometry)** у **PropertyManager**.

3. Поверніть модель і виберіть задню поверхню моделі; вибрана поверхня буде зафіксована, і на ній з'явиться позначення фіксованої геометрії, як показано на рисунку 9.21.

4. Натисніть **OK** у **PropertyManager**, щоб завершити процес фіксації.

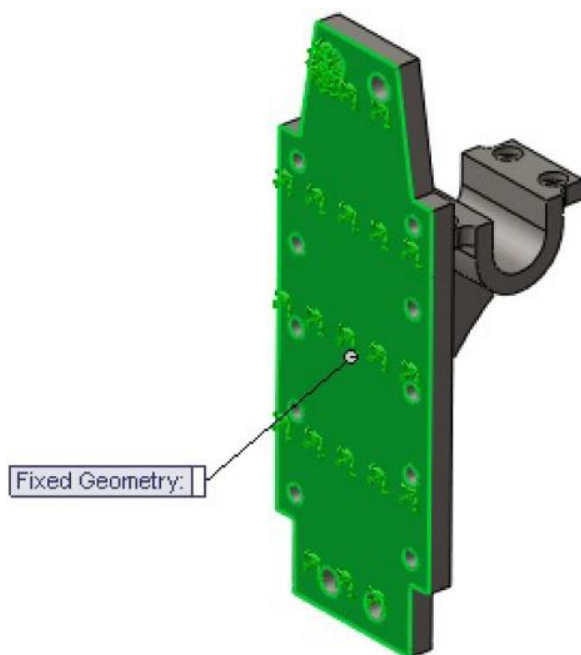


Рисунок 9.21 – Задня поверхня моделі зафіксована

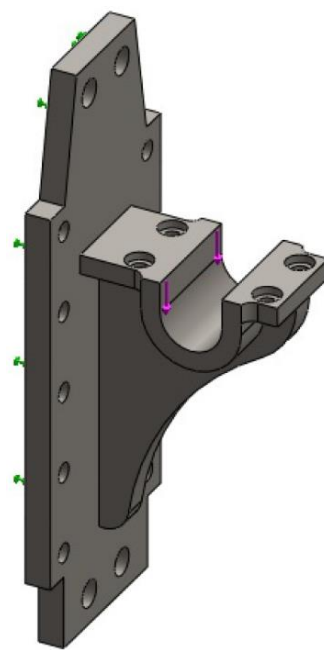


Рисунок 9.22 – Модель після застосування граничних умов та навантаження

### Застосування навантажень

Після застосування матеріалу та обмежень до моделі необхідно прикласти навантаження.

1. Виберіть інструмент **Force** із розділу **External Loads Advisor** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Force/Torque PropertyManager**.

2. Переконайтеся, що кнопка **Force** вибрана в розділі **Force/Torque** у **PropertyManager**.

3. Виберіть верхню напівкруглу поверхню моделі для прикладення навантаження, як показано на рисунку 9.22; навантаження буде прикладено до вибраного краю, і відповідне позначення з'явиться на поверхні.

Тепер потрібно задати напрямок прикладеного навантаження.

4. Виберіть перемикач **Selected direction** (Обраний напрямок) у розділі **Force/Torque** у **PropertyManager**; у розділі **Force/Torque** з'явиться поле **Face, Edge, Plane for Direction**.

5. Виберіть вертикальний край моделі для прикладення сили у вертикальному напрямку.

Якщо напрямок прикладеної сили спрямований вертикально вгору, потрібно змінити його на вертикально вниз.

6. Установіть прапорець **Reverse direction** у розділі **Force** у **PropertyManager**, щоб змінити напрямок прикладеної сили.

7. У спадному меню **Units** у розділі **Units** у **PropertyManager** виберіть **SI**.

8. У полі **Along Edge** розділу **Force** введіть значення 5.

9. Прийміть інші налаштування за замовчуванням і натисніть **OK**, щоб застосувати навантаження. На рисунку 9.22 показано триметричний вигляд моделі.

### Створення сітки

Після застосування граничних умов необхідно створити сітку.

1. Виберіть інструмент **Create Mesh** (Створити сітку) із розділу **Run This Study** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Mesh PropertyManager**.

2. Прийміть усі налаштування за замовчуванням і натисніть **OK** у **PropertyManager**; відкриється вікно **Mesh Progress** (Прогрес створення сітки). Після завершення процесу створення сітки модель із сіткою відобразиться в графічній області (див. рис. 9.23).

### Запуск аналізу

Тепер необхідно запустити аналіз моделі.

Виберіть інструмент **Run This Study** (Запустити це дослідження) у **Simulation CommandManager**; відкриється вікно дослідження **Bracket** (Кронштейн), і почнеться процес розв'язання моделі методом кінцевих елементів. Після завершення процесу аналізу до **FeatureManager Design Tree** буде додано новий вузол **Results**. Також у графічній області буде відображена модель із контуром напружень фон Мізеса, як показано на рисунку 9.24.

### Порада

*Щоб анімувати контур переміщень, клацніть правою кнопкою миші на **Displacement1 (-Res disp-)** у вузлі **Results**; з'явиться контекстне меню. Виберіть*

опцію **Animate**; анімація почнеться з налаштуваннями за замовчуванням. Також ліворуч у графічній області з'явиться **Animation PropertyManager**, де можна змінити налаштування відповідно до ваших вимог.

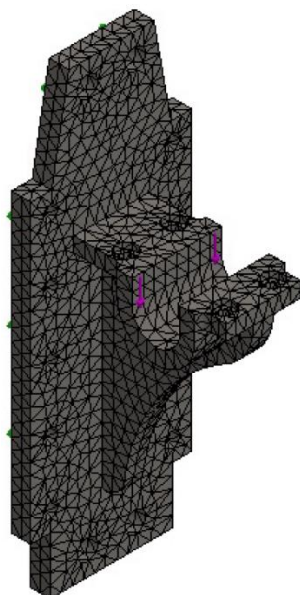


Рисунок 9.23 – Модель після створення сітки

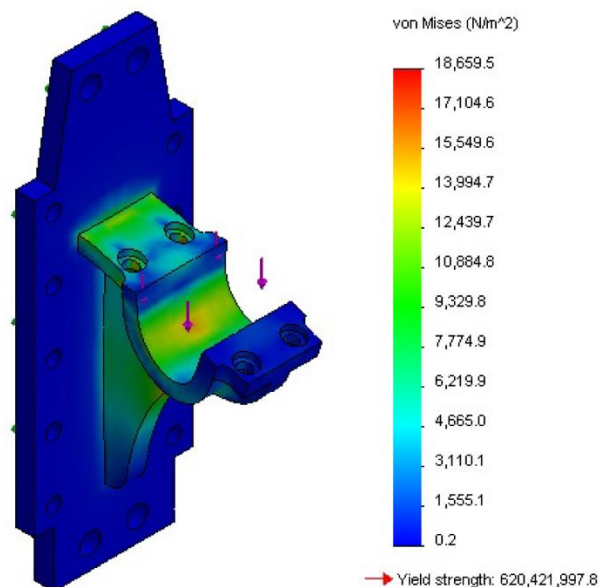


Рисунок 9.24 – Результатна модель із контуром напружень фон Мізеса

### Генерація звіту

Тепер необхідно створити звіт для дослідження.

1. Виберіть інструмент **Report** у **Simulation CommandManager**; відкриється діалогове вікно **Report Options**.

2. У розділі **Report sections** виберіть прапорці для тих розділів, які ви хочете додати до звіту.

Як було обговорено раніше, також можна додати інформацію, таку як виконавець, компанія, URL, логотип тощо, у заголовок звіту. Для цього введіть відповідну інформацію в поля редагування діалогового вікна, які стануть доступними після вибору відповідних прапорців.

3. Після введення всієї необхідної інформації у вікно **Report Options** натисніть кнопку **Publish**, щоб згенерувати звіт у форматі Word. Як тільки звіт

буде створено та відкрито у Word, до **FeatureManager Design Tree** буде додано вузол **Report**. Після перегляду звіту можна закрити його.

4. Збережіть і закрийте файл.

### ***Порада***

*Після закриття звіту ви можете знову відкрити його, двічі клацнувши на його назві у вузлі **Report** у **FeatureManager Design Tree**.*

### **Завдання 3**

У цьому завданні розглядається статичний аналіз для рами, показаної на рисунку 9.25. Розміри, граничні умови та прикладене навантаження для рами показані на рисунку 9.25.

Рама виготовлена з порожнистих труб із алюмінієвого сплаву 5052-H38 діаметром 0.5 дюймів та товщиною стінки за стандартом Schedule 40.

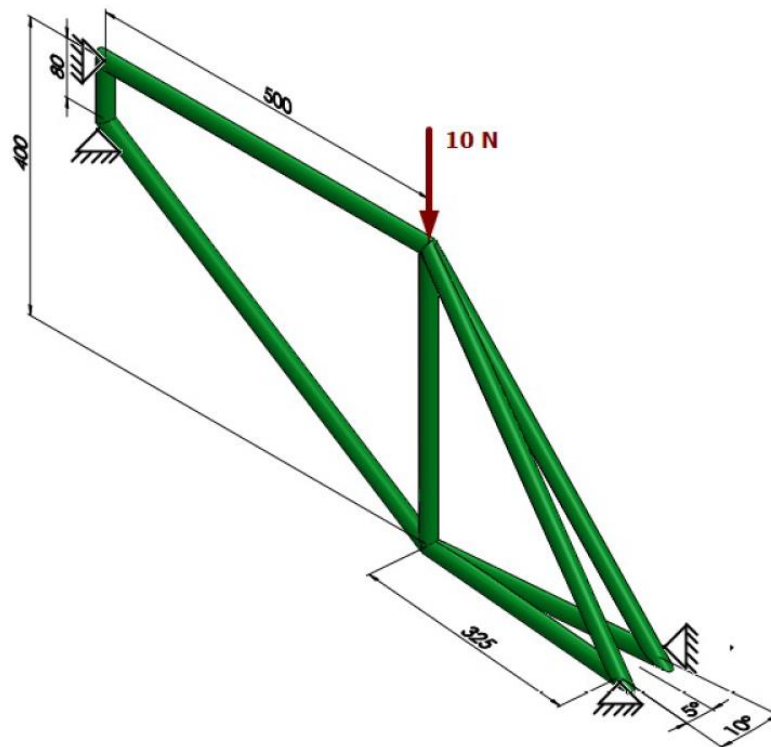


Рисунок 9.25 – Модель рами

### **Необхідні кроки для виконання цього завдання:**

а) Створити модель для аналізу.



- б) Розпочати нове статичне дослідження.
- в) Задати матеріал, обмеження та навантаження.
- г) Створити сітку та запустити аналіз.
- д) Переглянути результати.

### Створення моделі для аналізу

1. Створіть новий файл деталі у SOLIDWORKS, а потім викличте інструмент **3D Sketch** із розділу **Sketch flyout** у **Sketch CommandManager**, як показано на рисунку 9.26; відкриється середовище створення 3D ескізу.

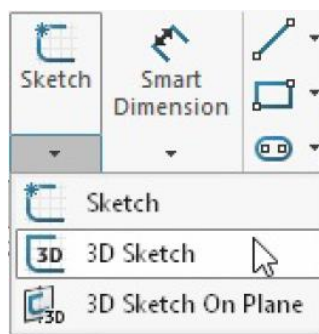


Рисунок 9.26 – Панель інструментів ескізу

2. Створіть 3D ескіз рами, як показано на рисунку 9.27. Після завершення вийдіть із середовища 3D ескізу. Ви також можете завантажити готовий 3D ескіз рами з вебсайту [www.cadcim.com](http://www.cadcim.com).

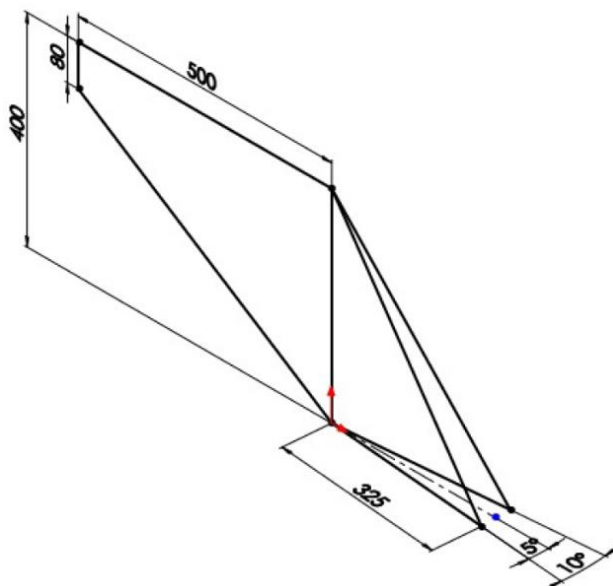


Рисунок 9.27 – 3D ескіз рами

3. Викличте **Weldments CommandManager** (Панель інструментів Зварних конструкцій), вибравши вкладку **Weldments** у **CommandManager**.

SOLIDWORKS надає інструменти для створення зварних конструкцій, у яких елементи групуються для створення складної структури. У SOLIDWORKS зварні конструкції створюються за допомогою інструментів із **Weldments CommandManager**. Ви можете використовувати 2D та 3D ескізи для визначення базової структури зварної конструкції.

Після створення 3D ескізу рами моделі необхідно створити зварну конструкцію за допомогою інструмента **Structural Member** (Структурний елемент) із **Weldments CommandManager**.

4. Виберіть інструмент **Structural Member** у **Weldments CommandManager**; відкриється **Structural Member PropertyManager**, як показано на рисунку 9.28.

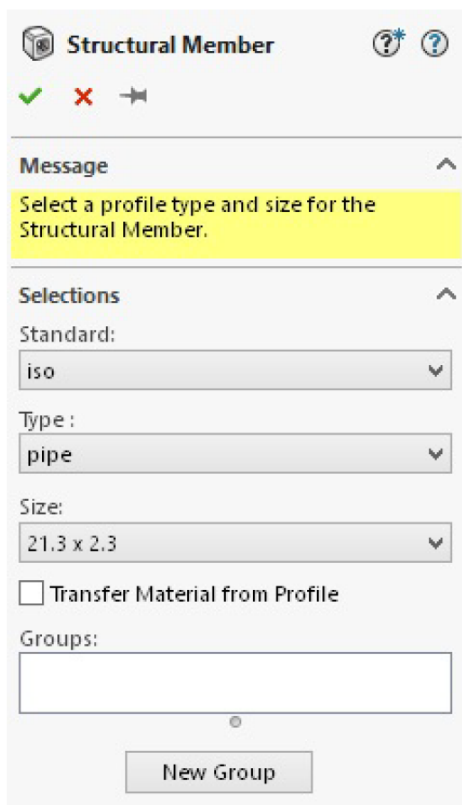


Рисунок 9.28 – Менеджер властивостей Structural Member

Інструмент **Structural Member** використовується для створення структурних елементів шляхом переміщення попередньо визначеного профілю вздовж заданого користувачем шляху.

5. У спадному меню **Standard** у розділі **Selections** (Вибір) у **PropertyManager** виберіть **ansi inch**.

6. У спадному меню **Type** виберіть **pipe** (труба), а в меню **Size** виберіть **0.5 sch 40**.

7. Клацніть у полі вибору груп **Groups** у **PropertyManager**, щоб активувати його. Потім виберіть перший набір елементів як елементи першої групи, як показано на рисунку 9.29; у графічній області з'явиться попередній вигляд структурних елементів, як показано на рисунку 9.30. Також у полі вибору груп створиться нова група.

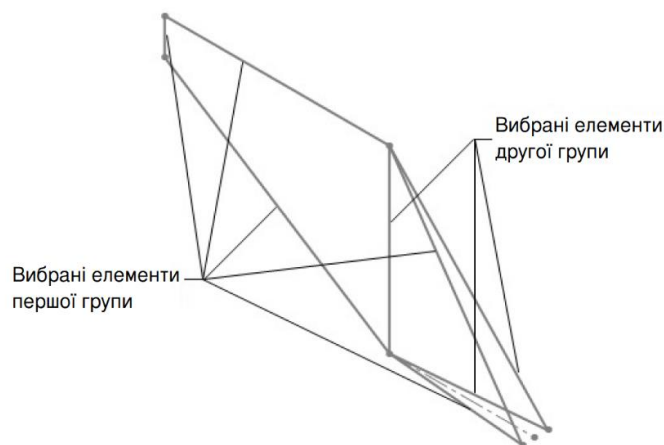


Рисунок 9.29 – Різні набори елементів для вибору

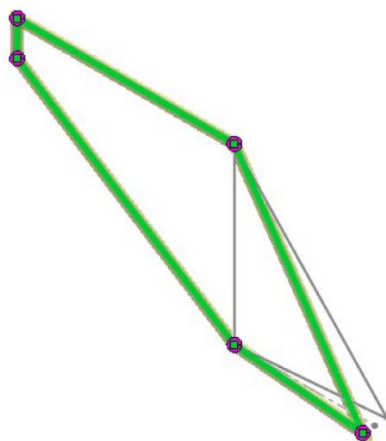


Рисунок 9.30 – Попередній вигляд структурних елементів

8. Переконайтеся, що прапорець **Apply corner treatment** (Застосувати обробку кутів) вибраний у розділі **Settings** у **PropertyManager**. Далі виберіть кнопку **End Miter** (Скошування кінців), якщо вона ще не вибрана.

9. Зніміть прапорець **Merge miter trimmed bodies** (Об'єднання підрізаних тіл зі скошеними кінцями) у розділі **Settings**. Потім у полі **Gap between Connected Segments in Same Group** (Зазор між підключеними сегментами в одній групі) введіть значення 0.

### ***Примітка***

*У SOLIDWORKS можна створювати зварні конструкції, які містять одну або більше груп. Усі елементи однієї групи розглядаються як єдиний блок. Можна вибирати паралельні або безперервні лінійні сегменти для створення групи. Також профіль зварної конструкції всіх груп у межах однієї функції структурного елемента залишається однаковим.*

10. Виберіть кнопку **New Group** (Нова група) у **Structural Member PropertyManager**, щоб створити нову групу структурних елементів; нова група буде додана до поля вибору груп у **PropertyManager**.

11. Виберіть інший набір елементів як елементи другої групи, як показано на рисунку 9.29; у графічній області з'явиться попередній вигляд структурних елементів. Також у полі вибору груп створиться нова група.

12. Переконайтеся, що прапорець **Apply corner treatment** (Застосувати обробку кутів) вибрано в розділі **Settings** менеджера властивостей **Structural Member**. Далі виберіть кнопку **End Miter**, розташовану під прапорцем **Apply corner treatment**.

13. Зніміть прапорець **Merge miter trimmed bodies** у розділі **Settings**. Потім у полі **Gap between Connected Segments in Same Group** введіть значення 0.

14. Натисніть кнопку **OK** у **Structural Member PropertyManager**; зварна конструкція буде створена (див. рис. 9.31).

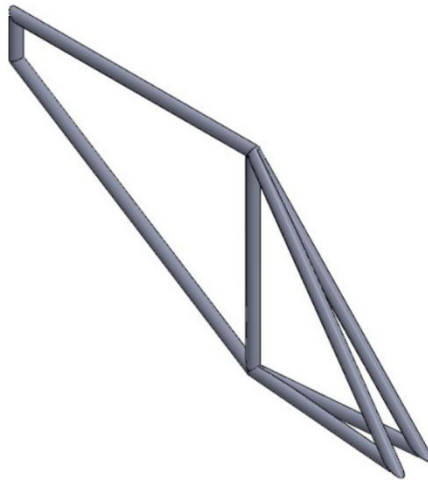


Рисунок 9.31 – Зварна конструкція рами

### Початок нового дослідження

Тепер необхідно розпочати нове дослідження для аналізу.

1. Виберіть вкладку **Simulation** у **CommandManager**; відкриється **Simulation CommandManager**.

2. Виберіть інструмент **New Study** із розділу **Study Advisor** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Study PropertyManager**.

3. Виберіть **Static**, якщо він ще не вибраний за замовчуванням, і введіть назву дослідження **Frame** (Рама) у полі **Name** у **PropertyManager**. Потім натисніть **OK**; у **FeatureManager Design Tree** з'явиться новий вузол із назвою **Frame**. Також у графічній області будуть відображені вузли (рис. 9.32).

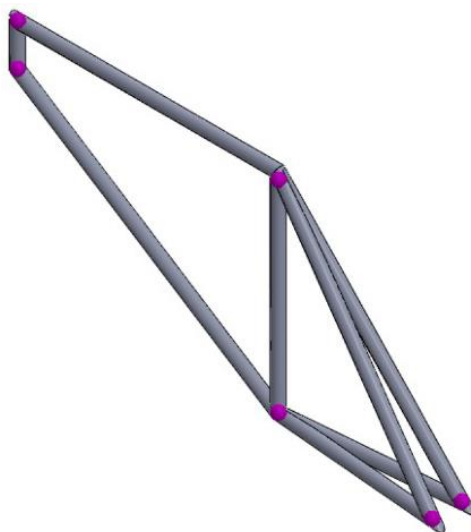


Рисунок 9.32 –Зварна конструкція з відображенням вузлів

### ***Примітка***

*Вузли рожевого кольору будуть відображені там, де перетинаються два або більше структурних елементи.*

*Вузли світло-зеленого кольору з'являться на кінцях і в середніх точках структурних елементів.*

### **Застосування матеріалу**

Тепер необхідно застосувати матеріал 5052-H38 Aluminium Alloy (алюмінієвий сплав 5052-H38) до рами.

1. Виберіть інструмент **Apply Material** у **Simulation CommandManager**; відкриється діалогове вікно **Material**.

2. Розгорніть вузол **SOLIDWORKS Materials** у діалоговому вікні **Material**. Далі розгорніть підрозділ **Aluminium Alloys** (Алюмінієві сплави).

3. Виберіть матеріал **5052-H38**; усі властивості вибраного матеріалу будуть відображені праворуч у діалоговому вікні.

4. Натисніть кнопку **Apply** у діалоговому вікні; вибраний матеріал буде застосовано до моделі. Далі закрийте діалогове вікно **Material**.

### **Застосування обмежень**

1. Виберіть інструмент **Fixed Geometry** із розділу **Fixtures Advisor** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Fixture PropertyManager**.

2. Переконайтеся, що кнопка **Fixed Geometry** вибрана в розділі **Standard (Fixed Geometry)** у **PropertyManager**.

3. Виберіть чотири вузли по черзі у графічній області, як показано на рисунку 9.33; на обраних вузлах з'являться символи фіксованої геометрії.

Потім натисніть кнопку **OK** у **PropertyManager**; обрані вузли будуть обмежені в ступенях свободи.

На рисунку 9.34 показана зварна конструкція після застосування обмежень.

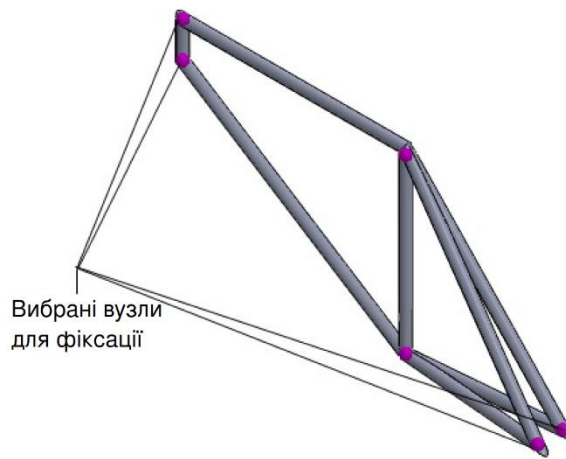


Рисунок 9.33 – Вибрані вузли для фіксації

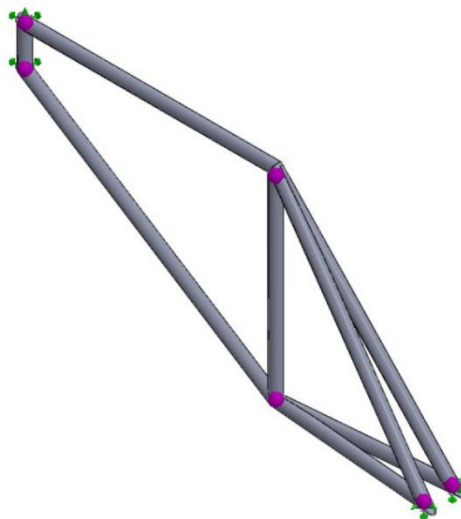


Рисунок 9.34 – Зварна конструкція після застосування обмежень

### Застосування навантажень

Після застосування матеріалу та обмежень до моделі необхідно прикласти навантаження.

1. Виберіть кнопку **Force** із розділу **External Loads Advisor** у **Simulation CommandManager**; ліворуч у графічній області відкриється **Force/Torque PropertyManager**.

2. Виберіть кнопку **Joints** (Вузли), доступну в розділі вибору вузлів **Joint Selection** (Вибір вузлів) у вкладці **Selection** в **PropertyManager**.

3. У графічній області виберіть вузол, що знаходиться у верхній частині середнього вертикального елемента рами, для прикладення сили.

4. Натисніть на поле **Face, Edge, Plane for Direction** у розділі **Selection** в PropertyManager, щоб активувати його.

Тепер потрібно задати напрямок сили.

5. Виберіть площину **Top Plane** з **FeatureManager Design Tree**, а потім виберіть **SI** у спадному меню **Unit** у розділі **Units** в PropertyManager.

6. Виберіть кнопку **Normal to Plane** (Перпендикулярно до площини) у розділі **Force** в PropertyManager; поле для введення значення **Normal to Plane** стане активним.

7. У полі **Normal to Plane** введіть значення 10, а потім виберіть прапорець **Reverse Direction**, щоб змінити напрямок сили на вертикально вниз.

8. Натисніть кнопку **OK** у PropertyManager. На рисунку 9.35 представлена структурна рама після прикладення навантаження.

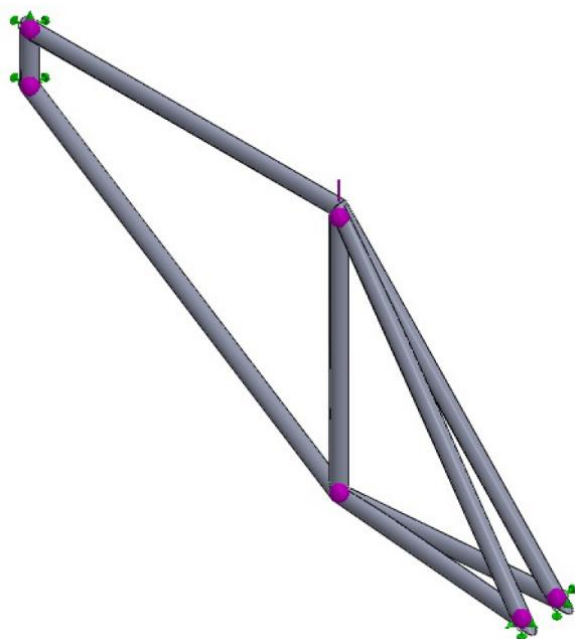


Рисунок 9.35 – Структурна рама після прикладення навантаження

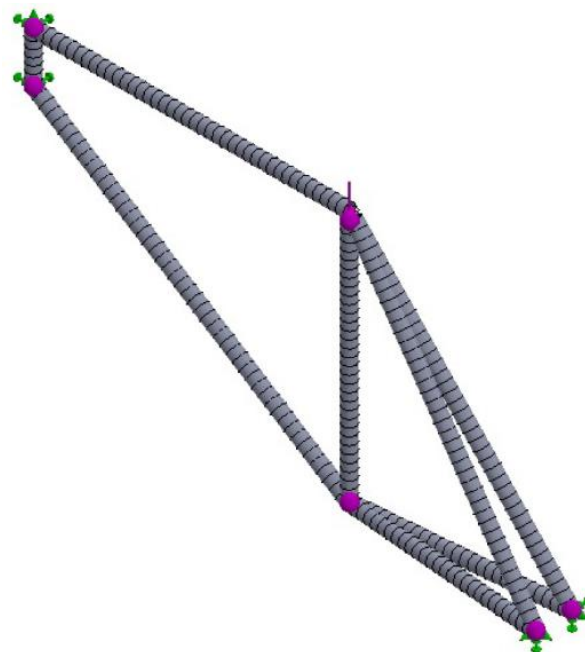


Рисунок 9.36 – Модель після створення сітки

### Створення сітки

Після застосування обмежень і навантажень необхідно створити сітку для моделі.



1. Виберіть інструмент **Create Mesh** із розділу **Run This Study** у **Simulation CommandManager**; відкриється **Mesh PropertyManager** (Менеджер властивостей сітки).

2. Прийміть усі інші налаштування за замовчуванням і натисніть **OK** у **PropertyManager**, щоб створити сітку. У графічній області відобразиться модель із сіткою, як показано на рисунку 9.36.

### Запуск аналізу

Тепер необхідно запустити аналіз моделі.

Виберіть кнопку **Run** із **Simulation CommandManager**; відкриється вікно **Bracket** (Кронштейн), і почнеться процес розв'язання. Після завершення аналізу до **FeatureManager Design Tree** буде додано новий вузол **Results**. Також у графічній області відобразиться результатна структура з контуром напружень, як показано на рисунку 9.37.

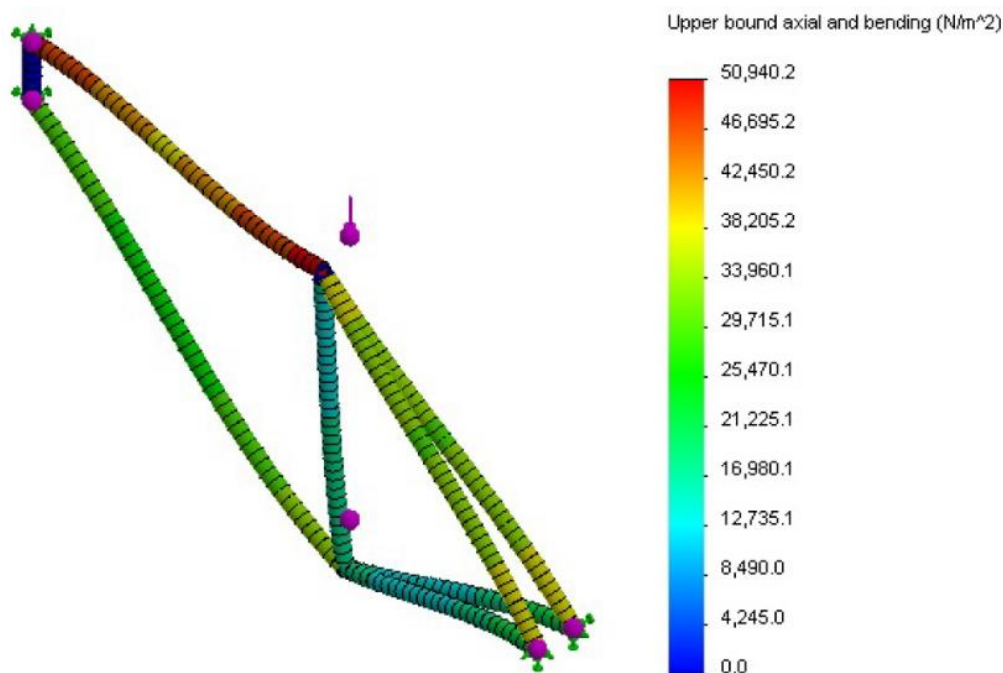


Рисунок 9.37 – Зварна конструкція з контуром напружень

### Перегляд результатів

Перегляд контурів напружень і переміщень виконується так само, як описано в попередніх завданнях.

1. Клацніть правою кнопкою миші на вузлі **Results**; з'явиться контекстне меню. Далі виберіть опцію **Define Factor of Safety Plot** (Визначити графік коефіцієнта безпеки); відкриється **Factor of Safety PropertyManager** (Менеджер властивостей коефіцієнта безпеки), як показано на рисунку 9.38. За замовчуванням у спадному меню **Criterion** (Критерій) у розділі **Step 1 of 3** (Крок 1 із 3) вибрано опцію **Automatic** (Автоматично).



Рисунок 9.38 – Менеджер властивостей коефіцієнта безпеки (Factor of Safety)

У спадному меню **Criterion** є опції для визначення критеріїв відмови для безпеки. Ви можете вибрати **Max von Mises stress** (Максимальне напруження фон Мізеса), **Max shear stress (Tresca)** (Максимальне зсувне напруження за Трескою), **Mohr-Coulomb stress** (Напруження за Мора-Кулона), **Max Normal stress** (Максимальне нормальне напруження) або опцію **Automatic** як критерій відмови для безпеки.

Опція **Automatic** у спадному меню **Criterion** є найбільш відповідним критерієм відмови для всіх типів елементів.

2. Прийміть налаштування за замовчуванням і виберіть кнопку **Next** у PropertyManager; розділ **Step 1 of 3** замінюється на **Step 2 of 3** (Крок 2 із 3) у PropertyManager.

За замовчуванням значення в полі **Multiplication factor** (Множник) у розділі **Step 2 of 3** встановлено на **1**.

Поле **Multiplication factor** дозволяє вказати множник для обчислення вибраного межового значення напруження. Наприклад, якщо застосувати множник 0.6 до межового значення напруження плинності 2000 psi, коефіцієнт безпеки становитиме  $0.6 \times 2000 = 1200$  psi для межового значення напруження.

3. Прийміть налаштування за замовчуванням і виберіть кнопку **Next**, щоб перейти до кроку 3. Виберіть **OK**, щоб прийняти і вийти з PropertyManager; буде відображено графік коефіцієнта безпеки, як показано на рисунку 9.39.

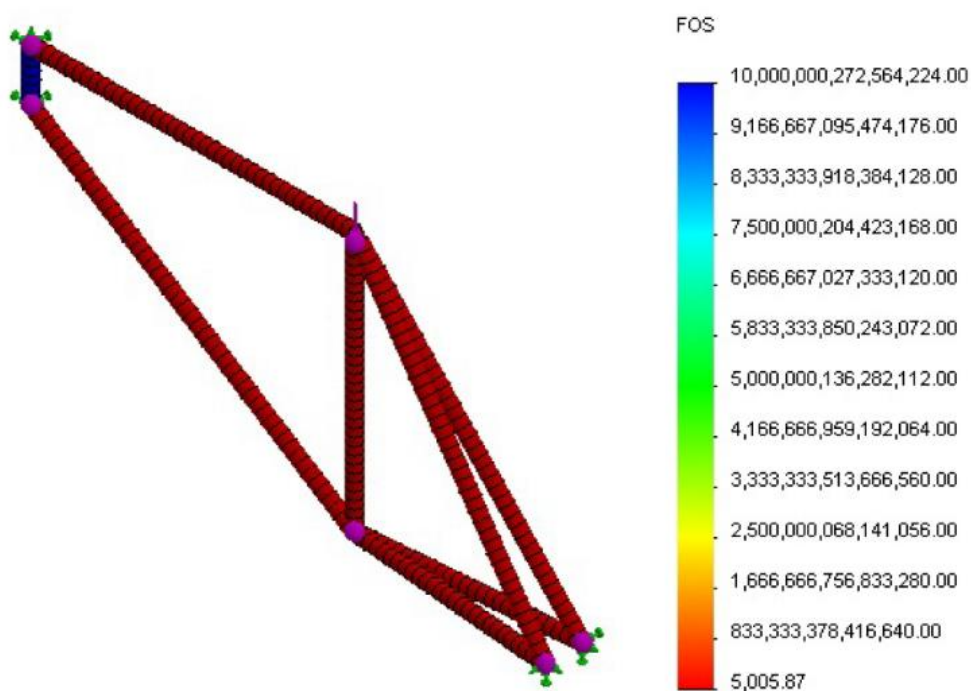


Рисунок 9.39 – Графік коефіцієнта безпеки

4. Збережіть модель у вибраній папці.

## Питання для самоконтролю

1. Які основні переваги використання CAE-систем у поєднанні з CAD для інженерного аналізу?
2. Чому важливо інтегрувати чисельний аналіз із процесом проектування?
3. Які етапи включає процес розрахунку на міцність пластини з вирізом?
4. Як застосувати матеріал до моделі в SOLIDWORKS Simulation?
5. Як задаються обмеження та навантаження на модель?
6. Що таке сітка в контексті чисельного аналізу, і як її створити?
7. Як дублювати існуюче дослідження для створення нового?
8. Що таке графік коефіцієнта безпеки, і як його створити?
9. Які критерії відмови доступні для визначення коефіцієнта безпеки?
10. Які переваги надає використання анімації для візуалізації результатів чисельного аналізу?

## Практичне завдання

У цьому практичному завданні необхідно провести статичний аналіз моделі, показаної на рисунку 9.40. Розміри, граничні умови та навантаження приведені на рисунку 9.41. Модель виконана з легованої сталі.

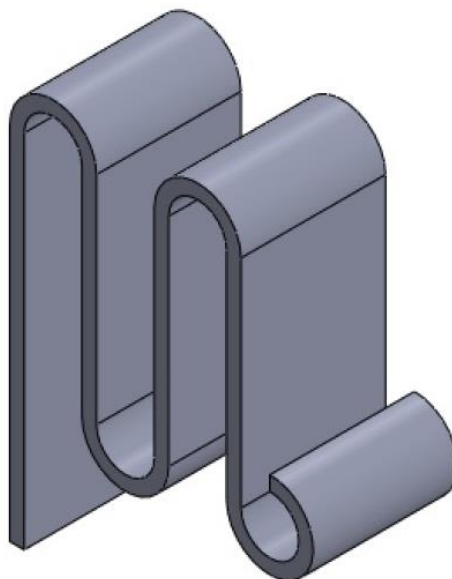


Рисунок 9.40 – Графік коефіцієнта безпеки

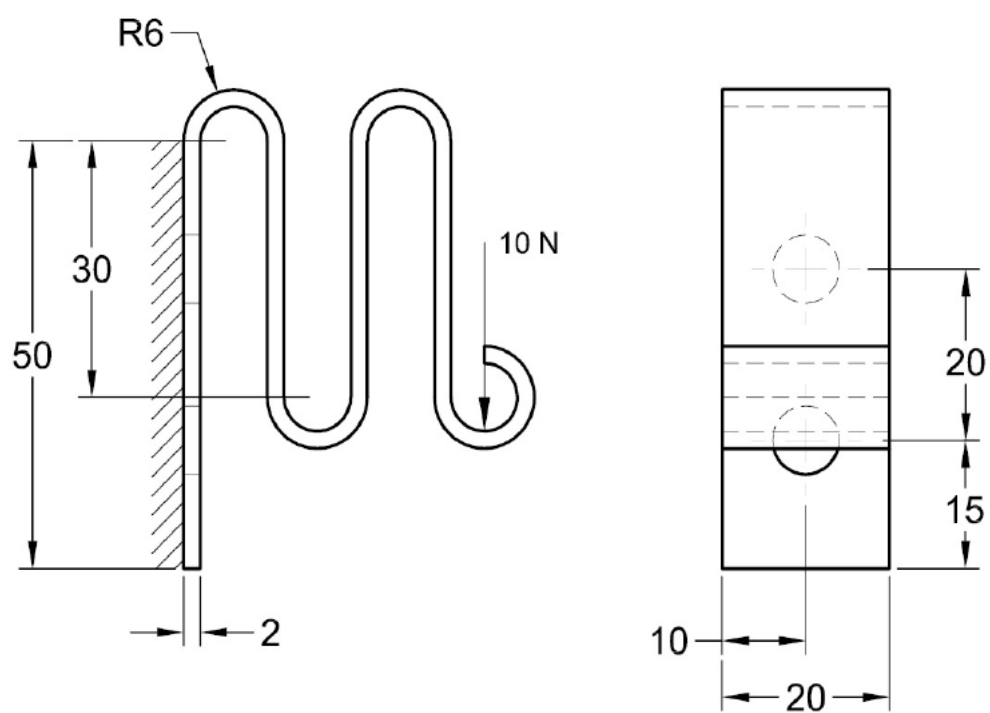


Рисунок 9.41 – Графік коефіцієнта безпеки

## **10 ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОТОКУ В ГІДРОМАШИНАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМИ FLOW SIMULATION**

### **10.1 Вступ**

Flow Simulation є потужним інструментом для інженерного аналізу потоків рідини та газу, інтегрованим у програмне забезпечення SolidWorks. Цей модуль дозволяє проводити повноцінні обчислювальні гідродинамічні (CFD) дослідження без необхідності переходу до сторонніх програм. Flow Simulation забезпечує інтуїтивний інтерфейс, який легко адаптується до вже знайомого середовища SolidWorks, що робить його доступним для широкого кола користувачів, включно з інженерами-конструкторами, проектувальниками та дослідниками. Інструмент дозволяє аналізувати широкий спектр фізичних процесів, таких як ламінарна й турбулентна течії, теплообмін, обмін масою, а також роботу з багатозфазними середовищами.

Однією з головних переваг Flow Simulation є його здатність ефективно моделювати течії у складних геометричних формах, зокрема у компонентах гідромашин. Для гідроенергетики, яка є однією з ключових галузей сучасного машинобудування, точність розрахунків і оптимізація конструкцій мають вирішальне значення. Гідромашини, такі як турбіни, насоси та компресори, працюють в умовах, де характеристики потоку безпосередньо впливають на їхню ефективність, довговічність і надійність.

Моделювання течій у гідромашинах дозволяє:

- Визначати розподіл тиску, швидкості й завихрень у проточних частинах;
- Оптимізувати конструкцію для зменшення гідравлічних втрат та підвищення ККД;
- Оцінювати роботу машини за різних експлуатаційних умов.

Flow Simulation відіграє важливу роль у створенні високотехнологічних гідромашин, що відповідають сучасним вимогам енергоефективності. Завдяки

інтеграції з CAD-середовищем SolidWorks, користувачі можуть швидко переходити від створення геометрії до виконання розрахунків, отримуючи точні й наочні результати в стислі терміни. Це значно спрощує процес проектування й забезпечує можливість прийняття обґрунтованих рішень на ранніх етапах розробки.

## **10.2 Особливості застосування Flow Simulation у гідромашинах**

Програмний модуль Flow Simulation є надзвичайно корисним інструментом для аналізу потоків рідини в гідромашинах. Його можливості дозволяють моделювати складні фізичні процеси, які відбуваються у проточних частинах турбін, насосів та інших компонентів гідромашин. Завдяки цьому можна більш детально вивчати поведінку потоку, оцінювати конструкцію на предмет ефективності та здійснювати оптимізацію геометричних параметрів для підвищення продуктивності обладнання.

### **10.2.1 Моделювання потоків у проточних частинах гідротурбін**

Гідротурбіни складаються з компонентів зі складною геометрією, таких як направляючі апарати, лопаті робочих коліс, спіральні камери та відсмоктуючі труби. У кожному з цих елементів потік має специфічні характеристики, які потрібно враховувати для забезпечення оптимальної роботи турбіни.

Flow Simulation дозволяє:

- **Аналізувати потік у складних геометричних областях.** Модуль обчислює розподіл швидкостей і тисків у кожній точці обчислювальної області, що дає змогу отримати чітке уявлення про те, як рідина рухається через проточну частину.
- **Визначати гідродинамічні втрати.** Однією з ключових задач є визначення зон, де виникають значні втрати енергії, наприклад, через турбулентність чи завихрення потоку. Це дозволяє мінімізувати втрати за рахунок оптимізації конструкції.

- **Оцінювати вплив змін конструкції.** У процесі проектування можуть тестуватися різні варіанти геометрії, щоб визначити, яка з них забезпечує найкращий розподіл потоку та мінімальну кількість турбулентних зон.

### **10.2.2 Оцінка ефективності конструкції на основі результатів розрахунку**

Результати розрахунків, отримані за допомогою Flow Simulation, є основою для комплексної оцінки ефективності конструкції гідромашин.

1. **Оптимізація конструкції.** Використовуючи дані про потоки, тиски та завихрення, можна здійснювати порівняльний аналіз різних варіантів конструкції. Наприклад, зміна профілю лопатей робочого колеса або геометрії спіральної камери може значно покращити гідравлічні характеристики турбіни.

2. **Визначення ефективності.** Flow Simulation дозволяє оцінити коефіцієнт корисної дії (ККД) конструкції шляхом визначення гідравлічних втрат і розподілу потоку. Це допомагає виявити ділянки, які потребують доопрацювання для підвищення продуктивності.

3. **Аналіз роботи за різних умов.** Гідромашини часто працюють у змінних умовах, наприклад, за різних витрат води або напорів. Flow Simulation дозволяє моделювати роботу конструкції за кількох сценаріїв, що забезпечує гнучкість у прийнятті рішень та адаптацію машини до реальних умов експлуатації.

4. **Мінімізація негативних впливів.** Можна передбачити такі небажані явища, як кавітація чи вібрації, та внести зміни до конструкції, щоб знизити їхній вплив.

### **10.2.3 Переваги та обмеження використання Flow Simulation**

Flow Simulation, як потужний інструмент для моделювання течій, має багато переваг при проектуванні та аналізі гідромашин. Проте, як і будь-яка інженерна програма, Flow Simulation має свої обмеження, які варто враховувати під час роботи.



### ***Гнучкість і інтеграція з CAD-системами***

Однією з основних переваг Flow Simulation є його бездоганна інтеграція з CAD-середовищем SolidWorks. Ця інтеграція забезпечує зручність роботи та дозволяє інженерам проводити моделювання без необхідності перемикатися між різними програмами чи конвертувати файли.

1. Єдине середовище роботи. Flow Simulation працює безпосередньо всередині SolidWorks, що дозволяє швидко створювати, редагувати та аналізувати моделі. Завдяки цьому інженери можуть легко вносити зміни в геометрію конструкції й одразу перевіряти їхній вплив на результати моделювання.

2. Швидке створення геометрії. Завдяки CAD-інструментам SolidWorks можна створювати складні геометрії проточних частин гідромашин, таких як спіральні камери, робочі колеса чи відсмоктуючі труби. Flow Simulation автоматично зчитує геометричні дані з моделі, що значно прискорює підготовчий етап.

3. Параметризація. Flow Simulation підтримує параметричне моделювання, що дозволяє досліджувати вплив змін у конструкції, таких як варіації профілю лопатей або розмірів проточних частин. Це забезпечує високу гнучкість у проектуванні та оптимізації гідромашин.

### ***Можливі труднощі при використанні Flow Simulation***

Попри численні переваги, Flow Simulation має свої обмеження, які варто враховувати для уникнення помилок і досягнення максимальної ефективності.

1. Вплив розрахункової сітки. Розрахункова сітка є важливим фактором, що впливає на точність і швидкість моделювання. Занадто груба сітка може призвести до втрати деталей потоку, тоді як надто детальна сітка значно збільшує час обчислень і вимоги до апаратного забезпечення. Необхідно знаходити баланс між деталізацією сітки та ресурсами, доступними для розрахунку.

2. Складність налаштування турбулентності. Турбулентні потоки, які є типовими для гідромашин, важко моделювати через їхню складну природу. Хоча

Flow Simulation пропонує кілька моделей турбулентності, правильний вибір моделі та її налаштувань може бути складним завданням, особливо на початкових етапах роботи з програмою.

3. Обмеження в складних багатофазних течіях. Хоча Flow Simulation підтримує моделювання багатофазних потоків, таких як потоки з повітряними бульбашками або частинками, його можливості в цьому напрямку можуть бути обмеженими порівняно з вузькоспеціалізованими програмами. У таких випадках можуть знадобитися додаткові інструменти для проведення детального аналізу.

4. Складність для початківців. Flow Simulation має широкий спектр налаштувань, які можуть бути складними для новачків. Наприклад, для отримання точних результатів необхідно мати ґрунтовні знання не лише програми, а й основ гідромеханіки. Це може створювати труднощі для фахівців, які тільки починають працювати з цим модулем.

### **10.3 Чисельне моделювання потоку у відсмоктуючій трубі гідротурбіни за допомогою Flow Simulation**

#### **Завдання 1**

**Мета завдання:** розвинути навички використання програмного забезпечення SolidWorks з модулем Flow Simulation для моделювання течій у проточних частинах гідромашин. Ознайомитися з основними етапами побудови розрахункової моделі, налаштування граничних умов, запуску чисельного розрахунку та аналізу отриманих результатів.

**Умова задачі:** необхідно виконати чисельний розрахунок просторової течії у відсмоктуючій трубі гідротурбіни.

#### **1. Геометрія:**

Алгоритм побудови тривимірної моделі відсмоктуючої труби розглянуто у Розділі 7.

Для даного завдання використовуйте надану 3D-модель відсмоктуючої труби у форматі SolidWorks.

## **2. Ціль моделювання:**

Визначити розподіл параметрів потоку у проточній частині відсмоктуючої труби для заданих умов роботи.

## **3. Умови моделювання:**

- Робоче середовище: вода.
- Тип аналізу: внутрішній потік.
- Граничні умови:
  - На вході: об'ємна витрата.
  - На виході: постійний атмосферний тиск.
- Інші параметри: залиште значення за замовчуванням (теплообмін, гравітація, турбулентність).

## **4. Результати розрахунків:**

- Побудувати епюри розподілу параметрів потоку в характерних перетинах відсмоктуючої труби.
- Побудувати траєкторії потоку для візуалізації завихрень.
- Визначити чисельні значення параметрів потоку у вхідному та вихідному перетинах.

## **Порядок виконання завдання:**

1. Підготовка моделі.
2. Створення проекту Flow Simulation.
3. Налаштування граничних умов.
4. Постановка інженерних задач.
5. Запуск розрахунку.
6. Аналіз результатів.
7. Формування звіту.

## **Очікувані результати**

Після виконання завдання студент повинен:

- Опанувати основні функції Flow Simulation.
- Розуміти, як налаштувати граничні умови та параметри розрахунку.
- Вміти аналізувати результати розрахунків і робити висновки щодо їх практичного застосування.

Завдання є базовим і слугує основою для подальшого вивчення чисельного моделювання течій у складніших конструкціях гідромашин.

## Методика виконання завдання

### Відкриття моделі

Натисніть **File > Open** (Файл > Відкрити). У діалоговому вікні виберіть файл з геометрією відсмоктуючої труби і натисніть Open (рис. 10.1). Ви також можете перетягнути на порожню область вікна SolidWorks. Переконайтеся, що активована конфігурація за замовчуванням (Default).

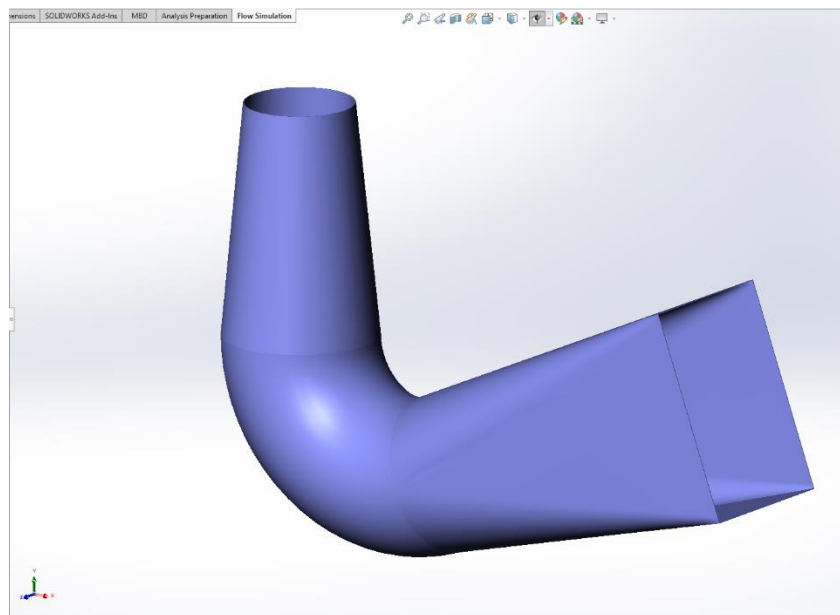


Рисунок 10.1 – Геометрія відсмоктуючої труби гідротурбіни

Дана модель буде використовуватися для аналізу у Flow Simulation без жодних значних змін.

## Створення проекту Flow Simulation

1. Натисніть **Flow Simulation > Project > Wizard** (Проект > Майстер).
2. У вікні, що з'явиться, виберіть **Create new** (Створити новий) для створення нової конфігурації та назвіть її **Project 1** (рис. 10.2). Flow Simulation створить нову конфігурацію та збереже всі дані в новій папці. Натисніть **Next** (Далі).

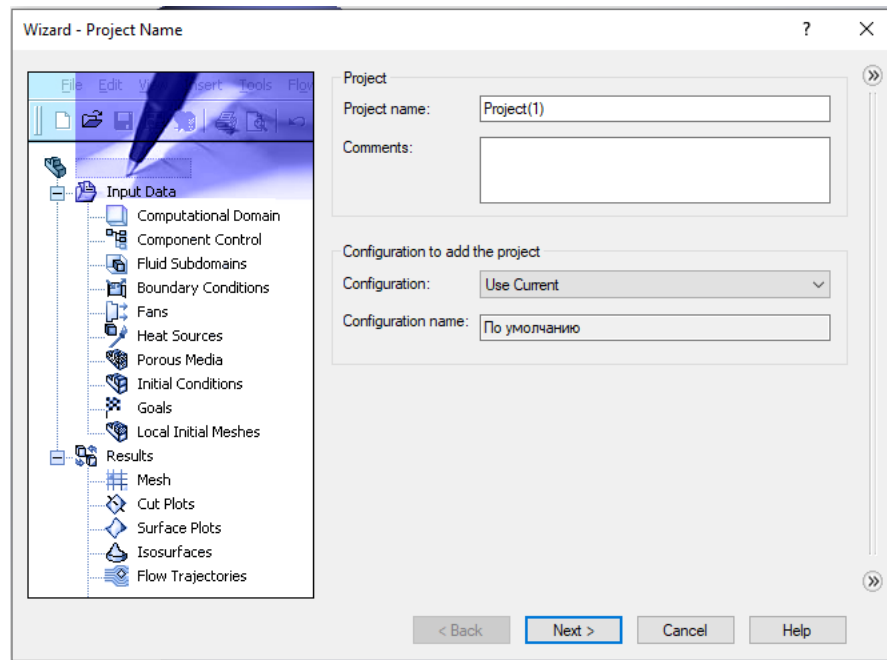


Рисунок 10.2 – Створення нового проекту

3. Оберіть систему одиниць вимірювання (**SI** для цього завдання) (рис. 10.3). Можна змінити систему одиниць у будь-який момент, натиснувши **Flow Simulation > Units** (Одиниці).

У Flow Simulation є кілька попередньо налаштованих систем одиниць, а також можливість створення власної системи одиниць з подальшим перемиканням між ними. Натисніть **Next**.

4. Залиште тип аналізу за замовчуванням – **Internal** (Внутрішній) (рис. 10.4). Не активуйте жодні фізичні елементи (**Physical Features**). Буде проведено аналіз потоку крізь модель, що називається внутрішнім аналізом (**Internal analysis**). Альтернативний тип аналізу – **External** (Зовнішній), коли потік рухається навколо моделі.

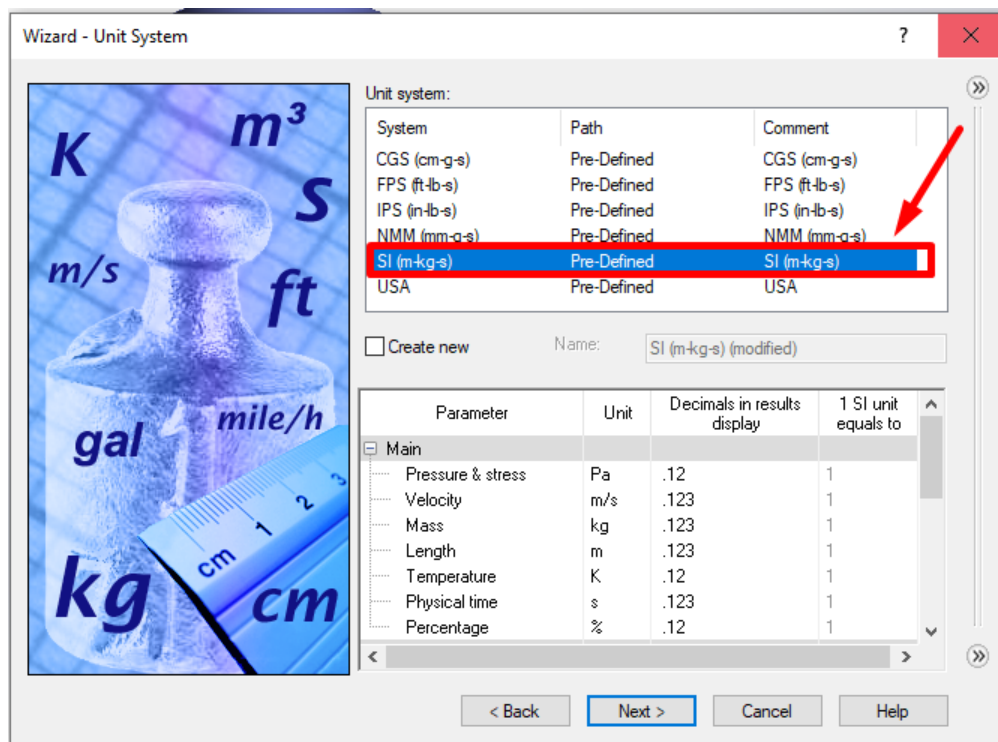


Рисунок 10.3 – Вибір системи одиниць вимірювання

У цьому діалоговому вікні також увімкнено опцію **Exclude cavities without flow condition** (Виключити порожнини без умов потоку), яка ігнорує порожнини, незначущі для аналізу. Це дозволяє Flow Simulation економити пам'ять і ресурси процесора.

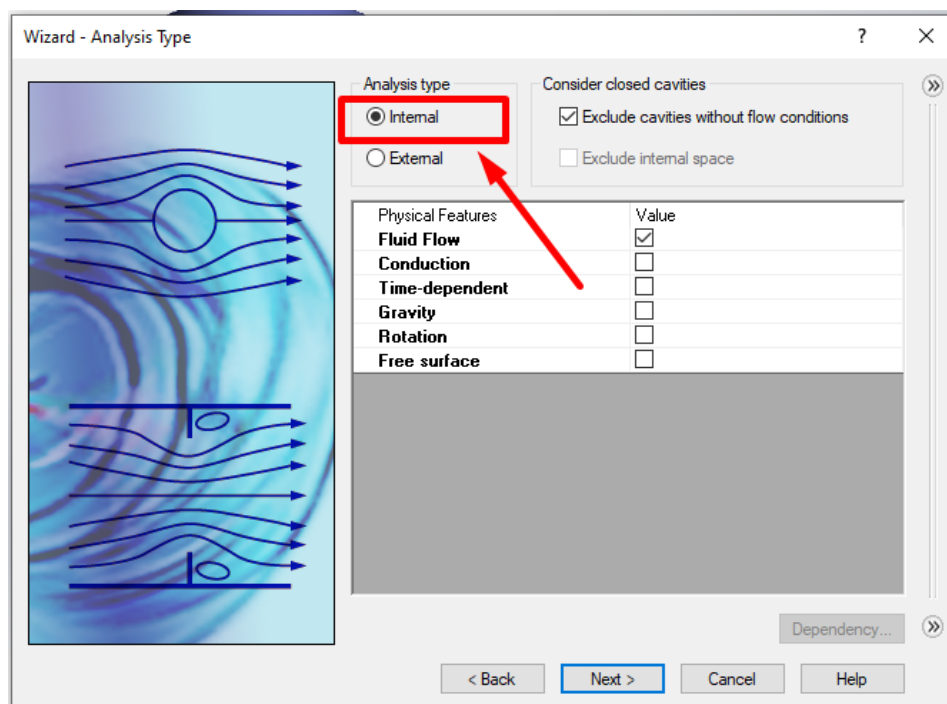


Рисунок 10.4 – Вибір типу аналізу потоку

Flow Simulation також може враховувати теплопровідність у твердих тілах, включаючи випромінювальний теплообмін від поверхні до поверхні, а також виконувати перехідний (залежний від часу) аналіз. Ефекти гравітації можуть використовуватися для моделювання природної конвекції газів. Крім того, доступний аналіз обертових деталей.

У цьому завданні всі ці опції опущено, оскільки вони не потрібні.

Натисніть **Next**.

5. У колонці **Fluids** (Текучі середовища) розгорніть розділ **Liquids** (Рідини) та виберіть **Water** (Вода) як текуче середовище (рис. 10.5).

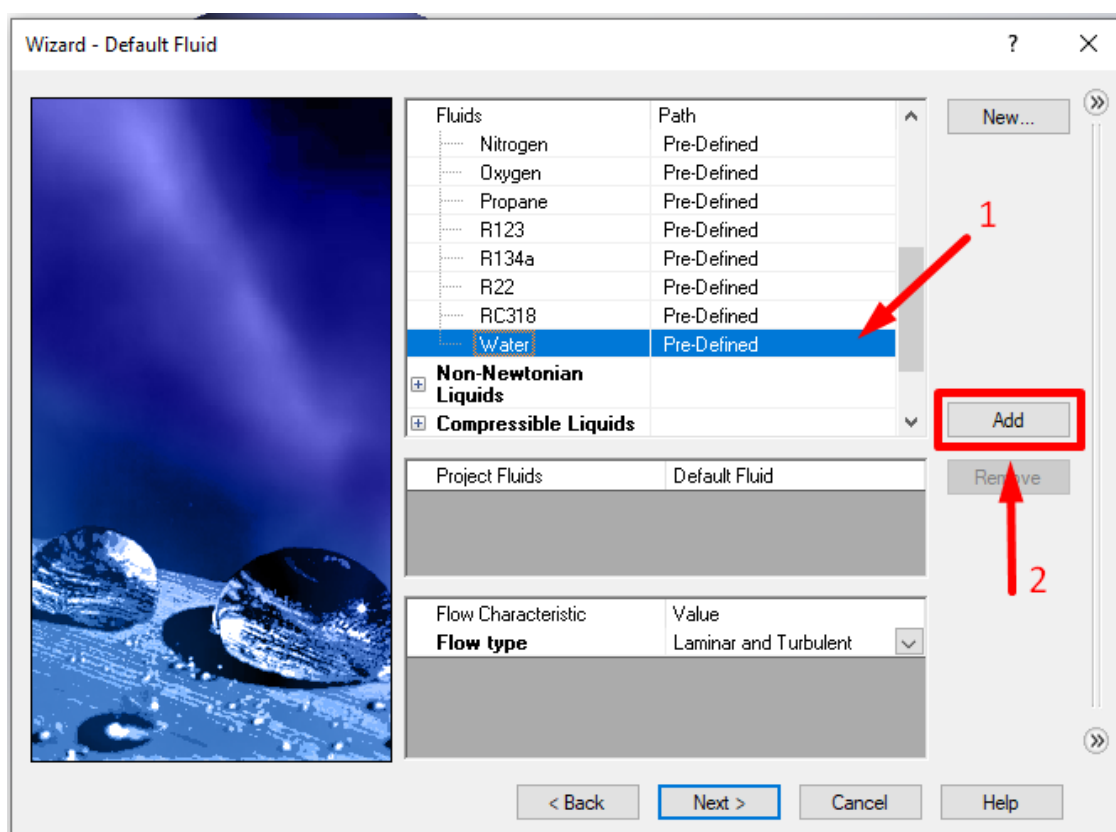


Рисунок 10.5 – Вибір текучого середовища

Щоб вибрати середовище, двічі клацніть на ньому або виділіть і натисніть **Add** (Додати) (рис. 10.6).

Flow Simulation дозволяє використовувати кілька типів текучих середовищ в одному дослідженні, але вони повинні бути розділені стінками. Суміш текучих середовищ можлива лише у разі їх однотипності.

Flow Simulation має інтегровану базу даних різних рідин, газів та твердих тіл. Тверді тіла використовуються в дослідженнях, пов'язаних із теплообміном. Для аналізу можна вибрати до десяти типів рідин або газів.

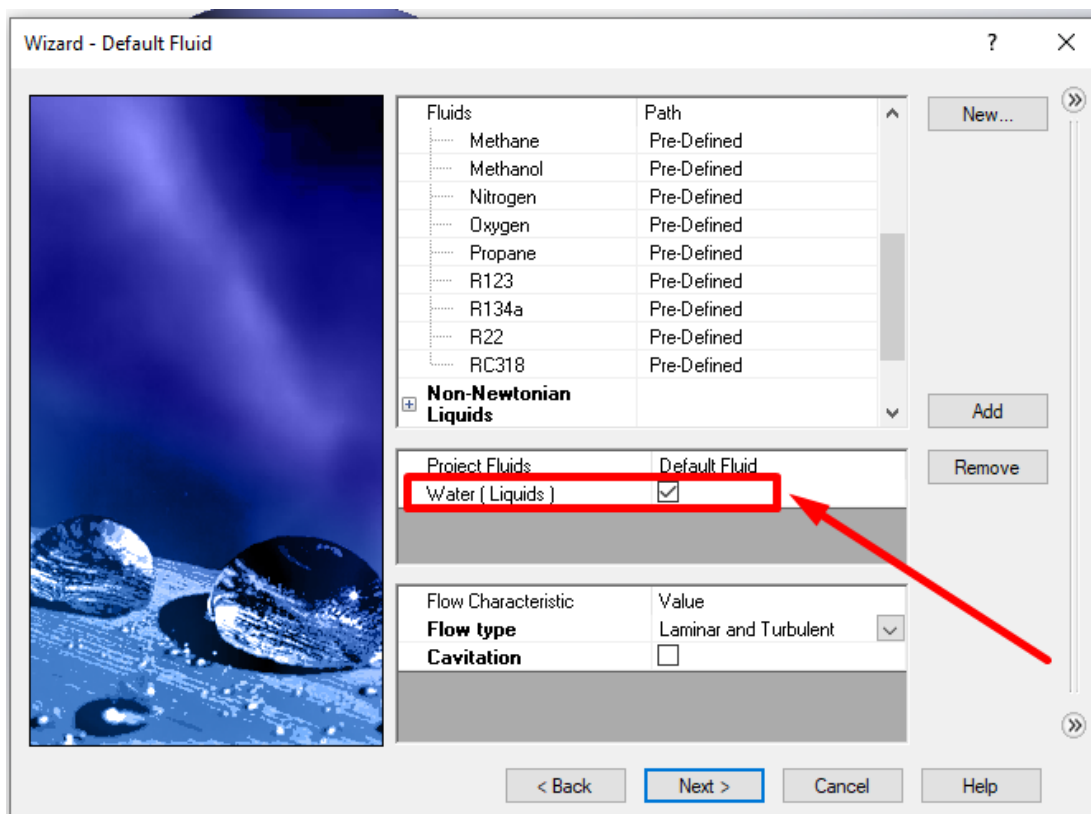


Рисунок 10.6 – Додавання середовища «вода» до проекту

Flow Simulation підтримує моделювання потоку різних типів: турбулентного, ламінарного чи їх комбінації. Можливий аналіз стиснених потоків із низьким і високим числом Маха для газів.

У цьому завданні як текуче середовище використовується рідина, а параметри потоку залишаються за замовчуванням.

Натисніть **Next**.

6. Натисніть **Next**, залишивши значення за замовчуванням (рис. 10.7).

Оскільки опція теплообміну всередині твердих тіл не обрана, доступні лише опції для визначення теплообміну поверхонь, які контактують із текучим середовищем. Цей крок визначає початкові параметри стінок. Залиште значення



за замовчуванням – **Adiabatic wall** (Адіабатичні стінки), що означає ідеально ізольовані стінки.

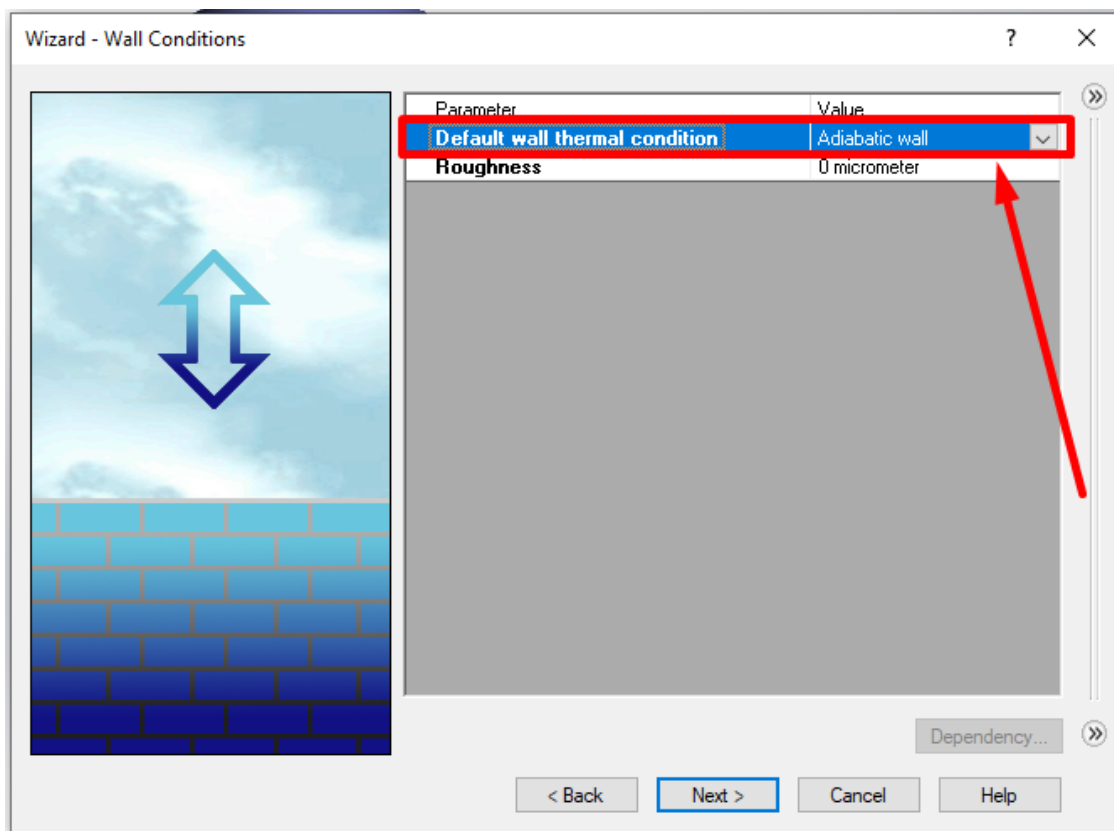


Рисунок 10.7 – Початкові параметри стінок

Також можна задати бажане значення шорсткості стінок усієї моделі. Щоб налаштувати шорсткість окремої стінки, використовуйте граничну умову **Real Wall** (Реальна стінка). Параметр **Rz** визначає рівень шорсткості.

7. Натисніть **Next**, залишивши значення за замовчуванням для початкових параметрів.

У цьому вікні можна задати початкові параметри тиску, температури та швидкості (рис. 10.8). Чим ближче ці значення будуть до фінальних, отриманих у результаті розрахунків, тим швидше Flow Simulation завершить обчислення. Оскільки очікувані результати в цьому прикладі невідомі, значення залишаються за замовчуванням.

Натисніть **Finish** (Завершити).

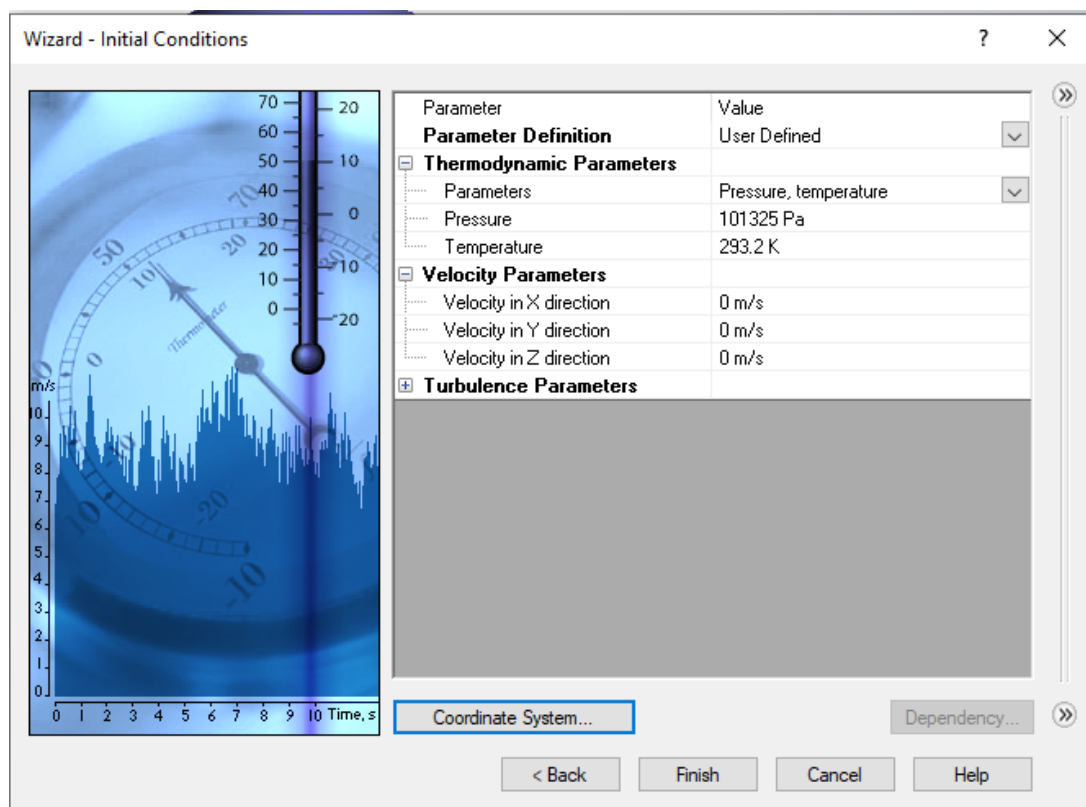


Рисунок 10.8 – Завдання початкових параметрів

При спробі налаштування проекту у Flow Simulation може з'явитися наступне попередження (рис. 10.9).

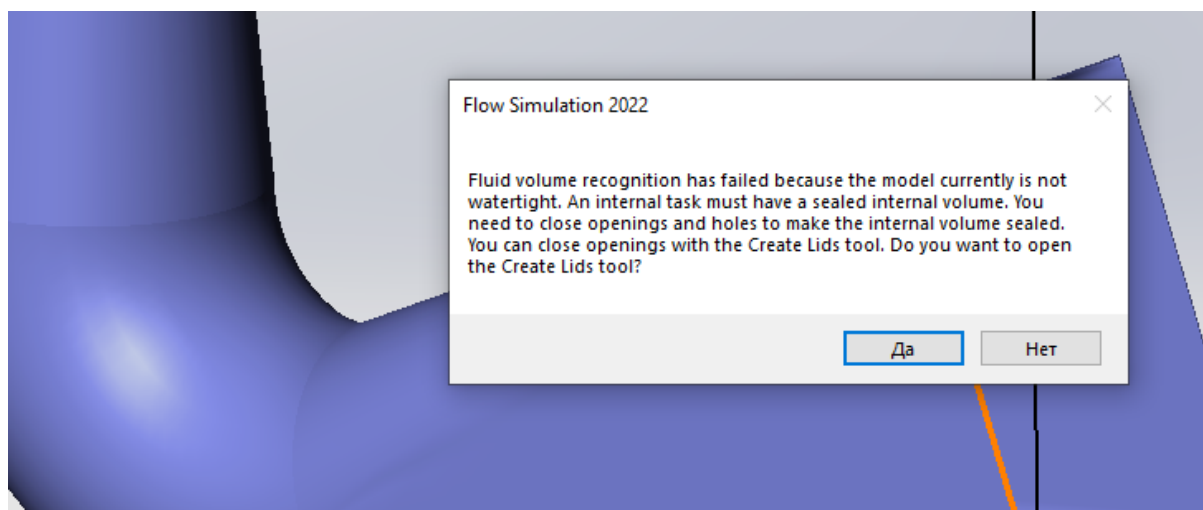


Рисунок 10.9 – Попередження про необхідність створення «заглушок»

Це повідомлення свідчить про те, що програмі не вдалося розпізнати об'єм рідини через наявність відкритих отворів у моделі. Для проведення розрахунків у Flow Simulation необхідно, щоб геометрія була повністю герметичною.

Причини виникнення попередження:

1. Відкриті отвори або тріщини в моделі.
2. Відсутність елементів, які закривають вхідні та вихідні отвори потоку.
3. Неправильна побудова об'єкта, через яку модель не відповідає вимогам герметичності.

Рішенням даної проблеми може бути створення заглушок (**Lids**).

Для цього можна скористатися інструментом **Create Lids** (Створити заглушки) для автоматичного закриття отворів. Нижче наведено покрокову інструкцію.

Інструкція зі створення заглушок:

1. Відкрийте інструмент **Create Lids**. Якщо з'явилося попередження, натисніть **Yes** у діалоговому вікні для автоматичного запуску інструменту **Create Lids** (рис. 10.10).

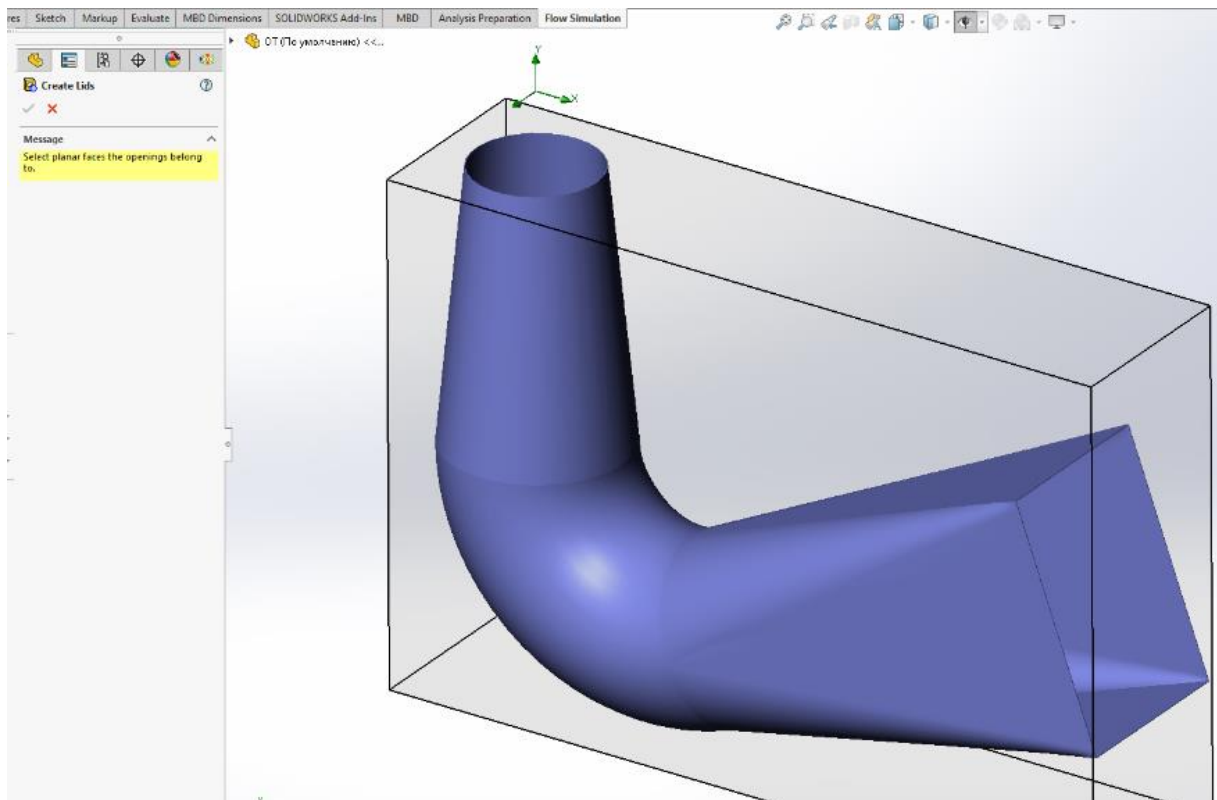


Рисунок 10.10 – Запуск автоматичного створення заглушок

2. Виберіть отвір для закриття. У графічному вікні або дереві моделі виберіть отвір, який потрібно закрити. Інструмент автоматично визначить відповідну площину або контур для створення заглушки.

В даному випадку необхідно вибрати вхідний та вихідний перетини відсмоктуючої труби. Вхідний перетин відсмоктуючої труби приведено на рисунку 10.11.

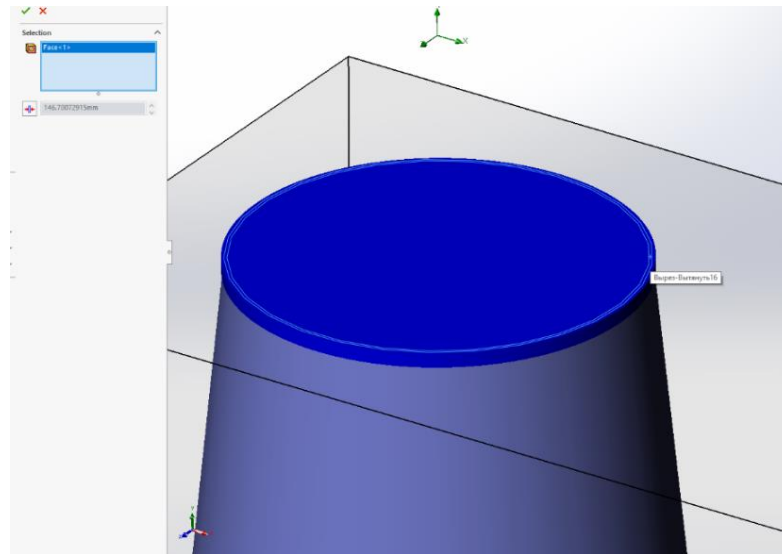


Рисунок 10.11 – Створення заглушки на вхідному перетині відсмоктуючої труби

3. Створіть заглушку. Натисніть **OK** або **Apply**, щоб додати заглушку до моделі. Вона автоматично з'явиться в дереві FeatureManager як окремий елемент (рис. 10.11).

4. Повторіть для інших отворів. Якщо в моделі є кілька отворів, повторіть процес для кожного з них, доки всі отвори не будуть закриті.

На рисунку 10.12 показано заглушки на вхідному та вихідному перетинах відсмоктуючої труби гідротурбіни.

5. Перевірте герметичність моделі. Після створення всіх заглушок переконайтеся, що обчислювальна область правильно відображається. Для цього:

- Перейдіть до **Flow Simulation Analysis Tree**.
- Перевірте відсутність попереджень щодо об'єму рідини.

6. Продовжуйте налаштування проекту. Після закриття всіх отворів поверніться до налаштувань Flow Simulation і завершіть створення проекту.

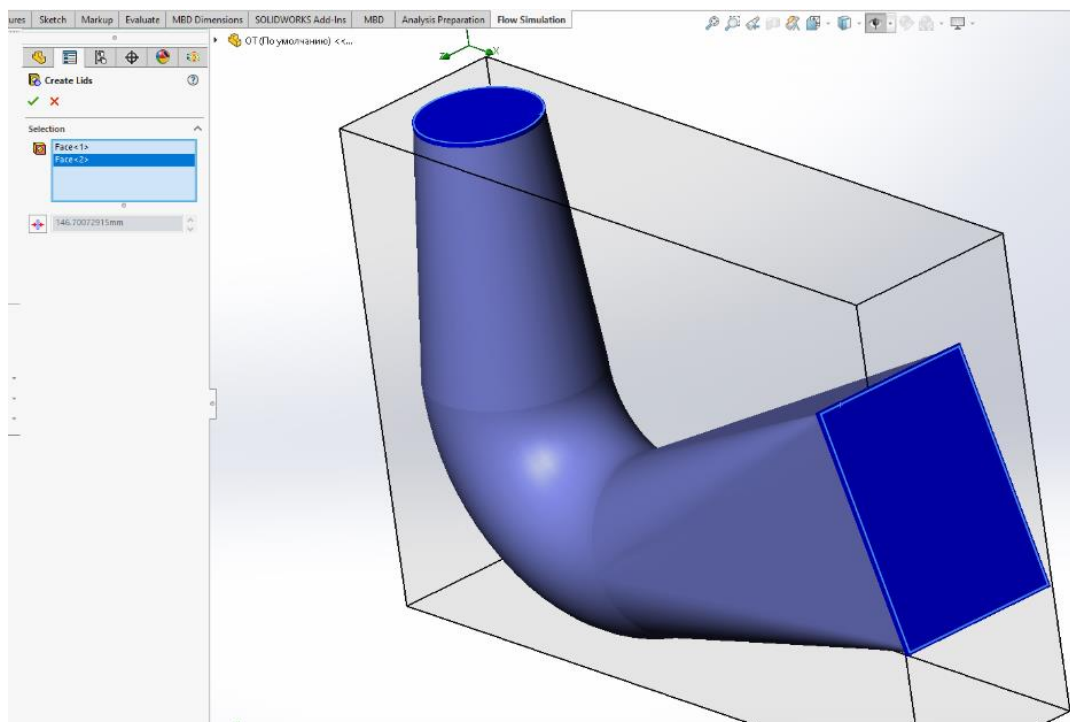


Рисунок 10.12 – Заглушки на вхідному та вихідному перетинах відсмоктуючої труби

Після створення заглушок програма може видати такі спливаючі повідомлення (рис. 10.13 та 10.14). Натисніть **Yes** у даних спливаючих повідомленнях.

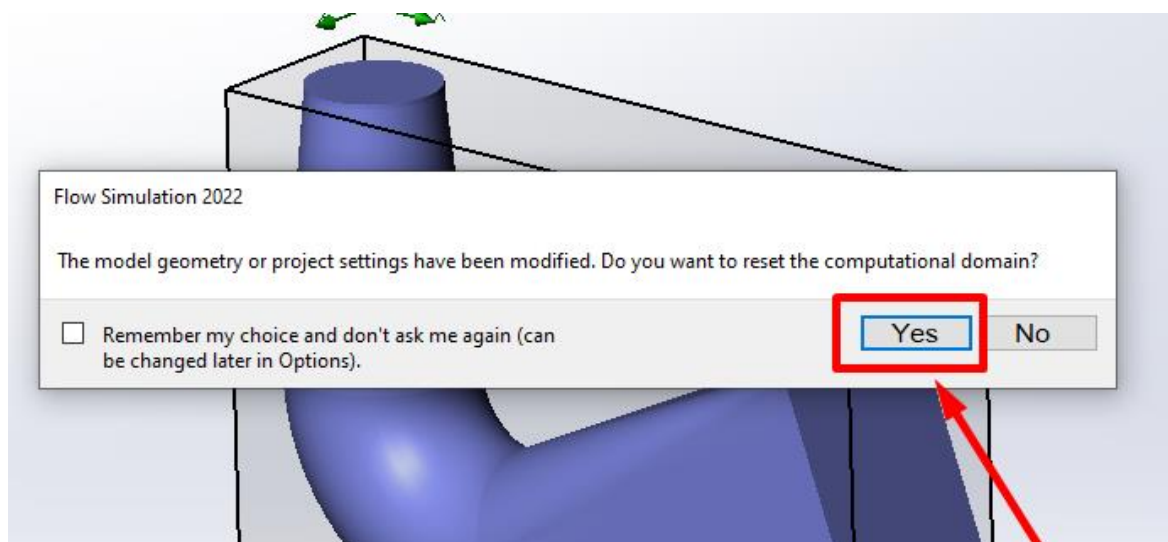


Рисунок 10.13 – Попередження про модифікацію геометрії

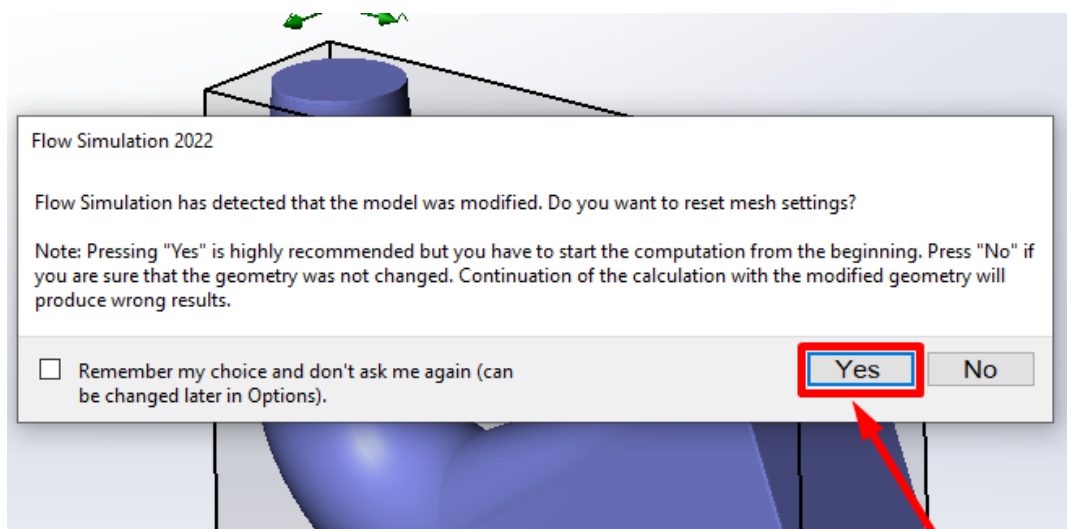


Рисунок 10.14 – Попередження про зміни в налаштуванні розрахункової сітки

### ***Примітка***

*Інструмент **Create Lids** значно спрощує процес закриття отворів у моделях з простими геометриями. Для складних контурів може знадобитися ручне створення поверхонь за допомогою інших інструментів SolidWorks, таких як **Surface** (Поверхня) або **Extruded Boss/Base** (Витягнуте тіло).*

Тепер програма Flow Simulation створила нову конфігурацію з даними дослідження.

Натисніть вкладку **Configuration Manager** (Менеджер конфігурацій), щоб побачити нову конфігурацію.

Зверніть увагу, що конфігурація отримала ім'я, введене у **Wizard**.

Перейдіть до дерева **Flow Simulation Analysis Tree** (Дерево аналізу Flow Simulation) та розгорніть усі підрозділи (рис. 10.15).

**Flow Simulation Analysis Tree** використовується для конфігурування дослідження, аналогічно до **FeatureManager Design Tree** для створення твердотільної моделі. Це дерево можна налаштовувати, обираючи, які розділи відображати, а які приховувати.

Натисніть правою кнопкою миші (ПКМ) на значку **Computational Domain** (Обчислювальна область) і виберіть **Hide** (Сховати), щоб приховати чорний каркасний ящик (див. рис. 10.16).

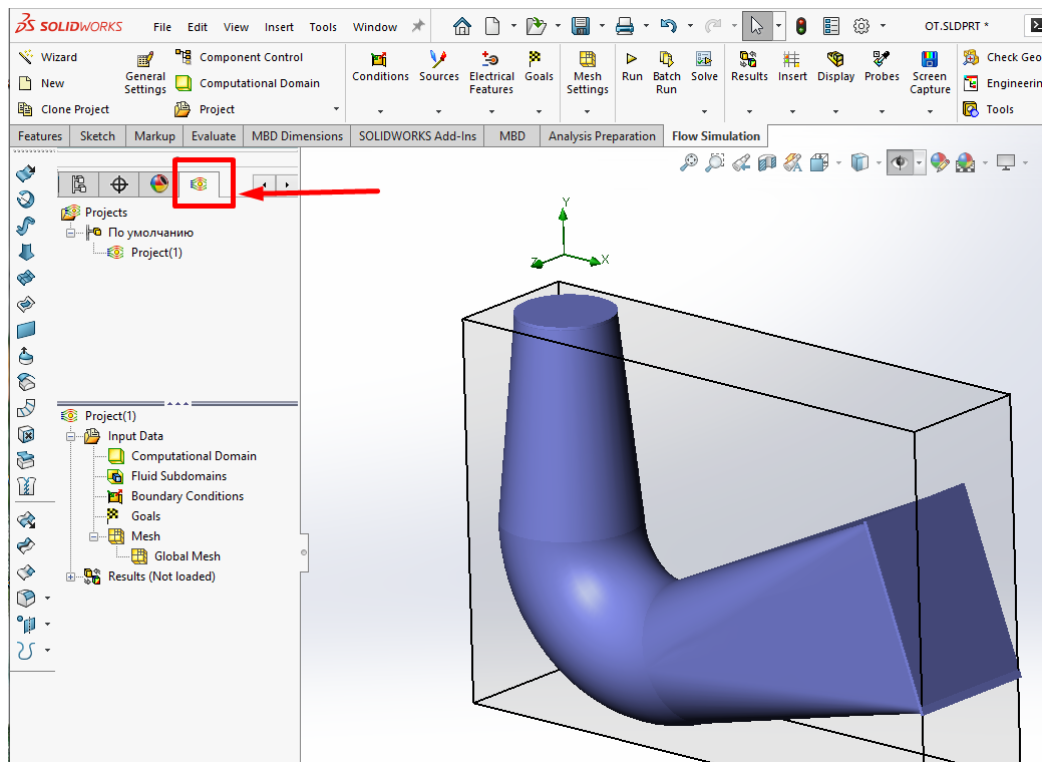


Рисунок 10.15 – Дерево аналізу Flow Simulation

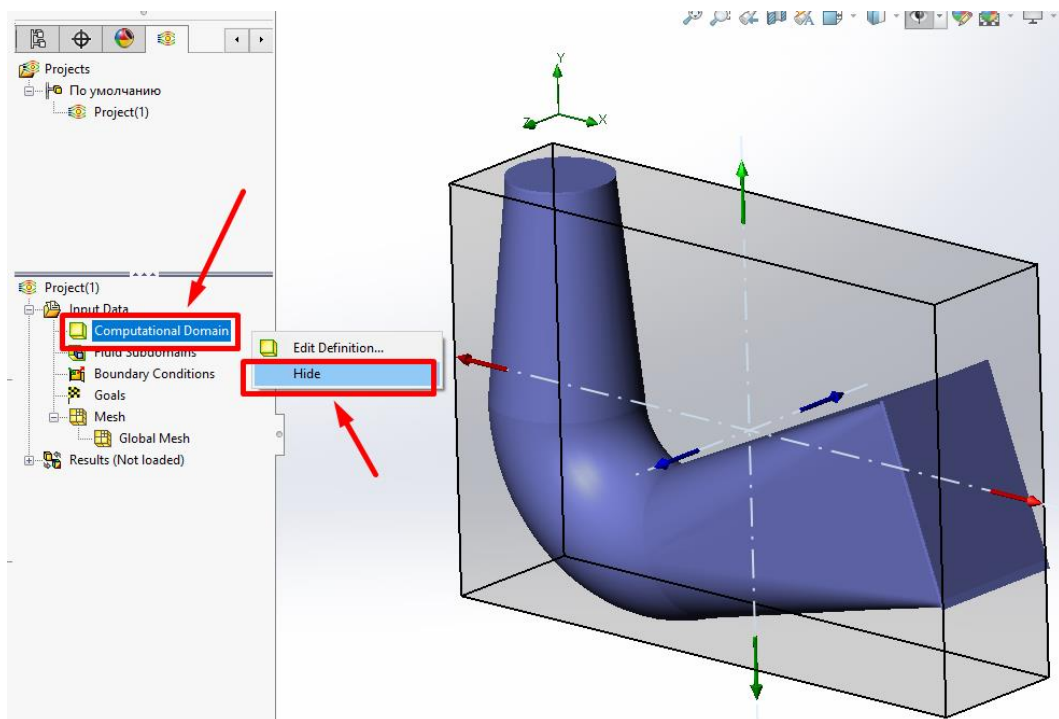


Рисунок 10.16 – Налаштування Computational Domain

Значок **Computational Domain** використовується для модифікації та візуалізації області, що аналізується. Каркасний ящик навколо моделі є візуалізацією меж обчислювальної області.



## Граничні умови

Граничні умови (**Boundary Conditions**) необхідні в місцях, де потік входить у систему або залишає її. Ці умови можуть бути задані як тиск, масова витрата, об'ємна витрата або швидкість.

1. У дереві **Flow Simulation Analysis** натисніть ПКМ на значку **Boundary Conditions** та виберіть **Insert Boundary Condition** (рис. 10.17).

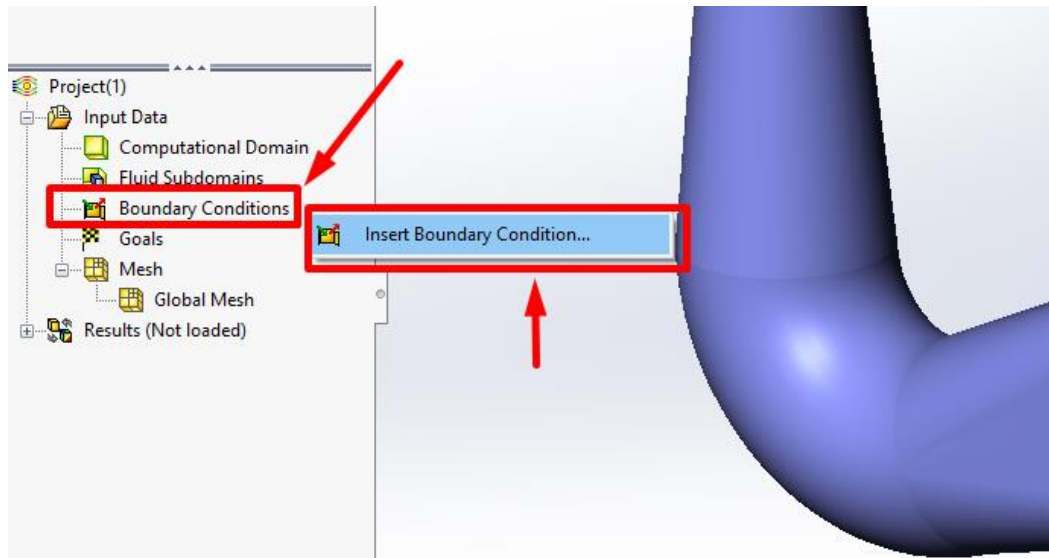


Рисунок 10.17 – Додавання граничної умови

2. Виберіть внутрішню поверхню заглушки **Lid 2 Face1** (рис. 10.18).

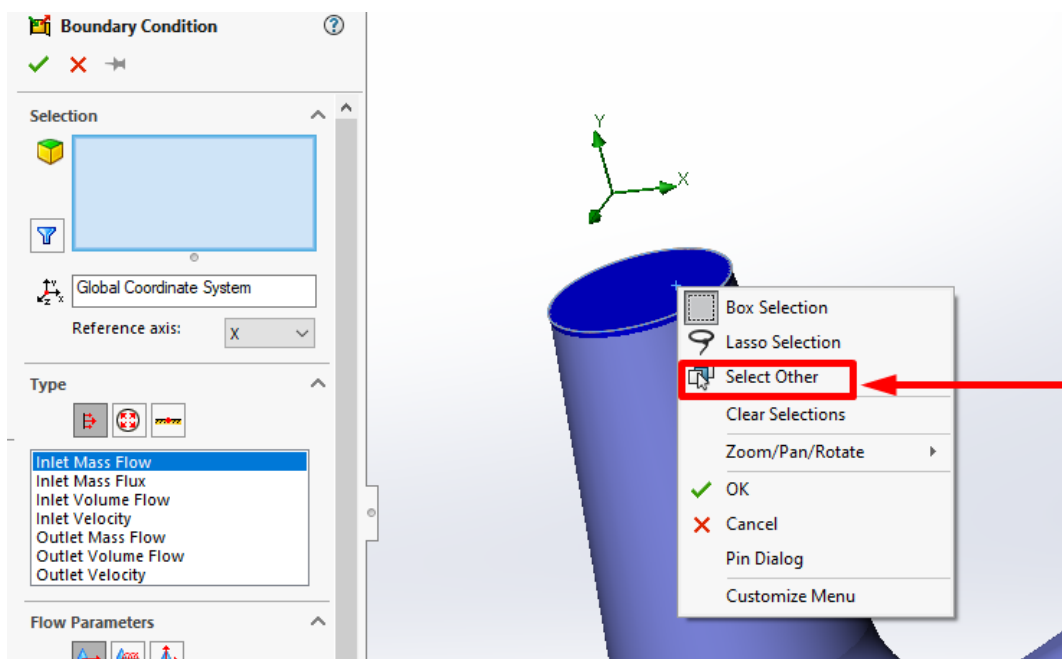


Рисунок 10.18 – Вибір поверхні для граничної умови на вході



Для доступу до внутрішньої поверхні у графічній області натисніть ПКМ на **Lid 2**, виберіть **Select Other** (Вибрати інше) та наведіть курсор на елементи списку, поки внутрішня поверхня не буде підсвічена. Потім натисніть лівою кнопкою миші (ЛКМ) (рис. 10.19 та 10.20).

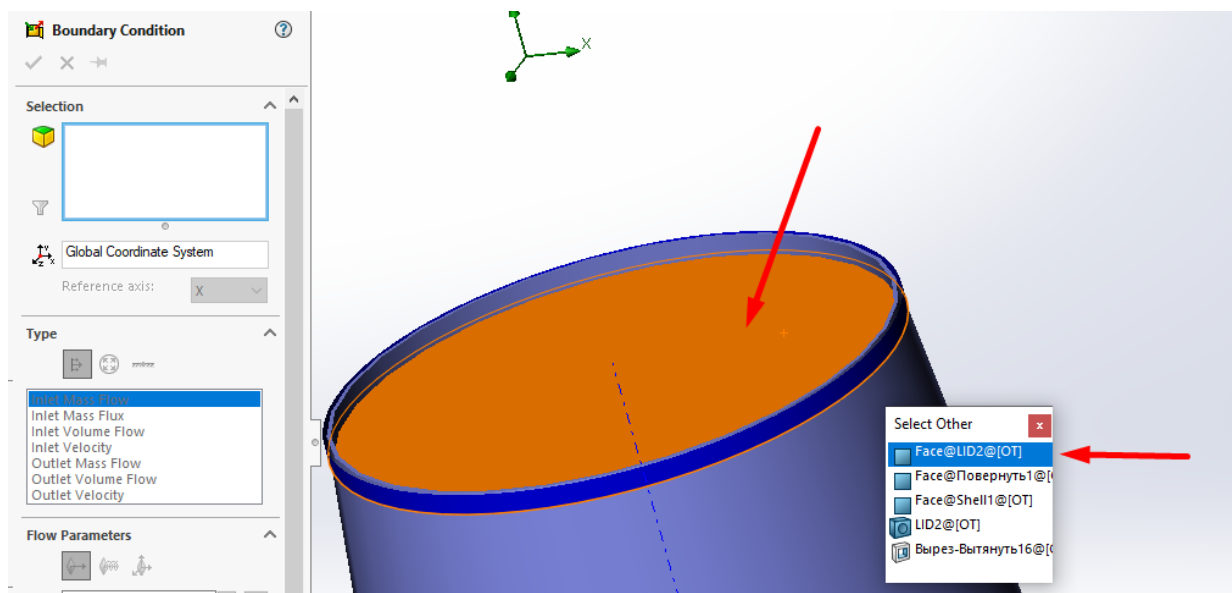


Рисунок 10.19 – Вибір внутрішньої площини заглушки на вході у відсмоктуючу трубу

3. Виберіть **Flow Openings** (Отвори для потоку) та **Inlet Volume Flow** (Об’ємна витрата на вході) (рис. 10.20).

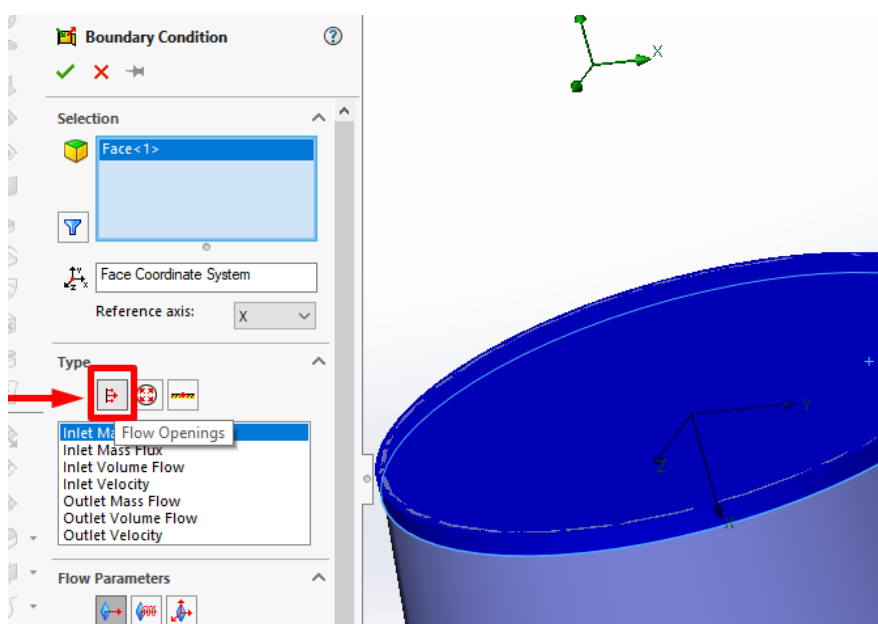


Рисунок 10.20 – Завдання граничних умов на вході

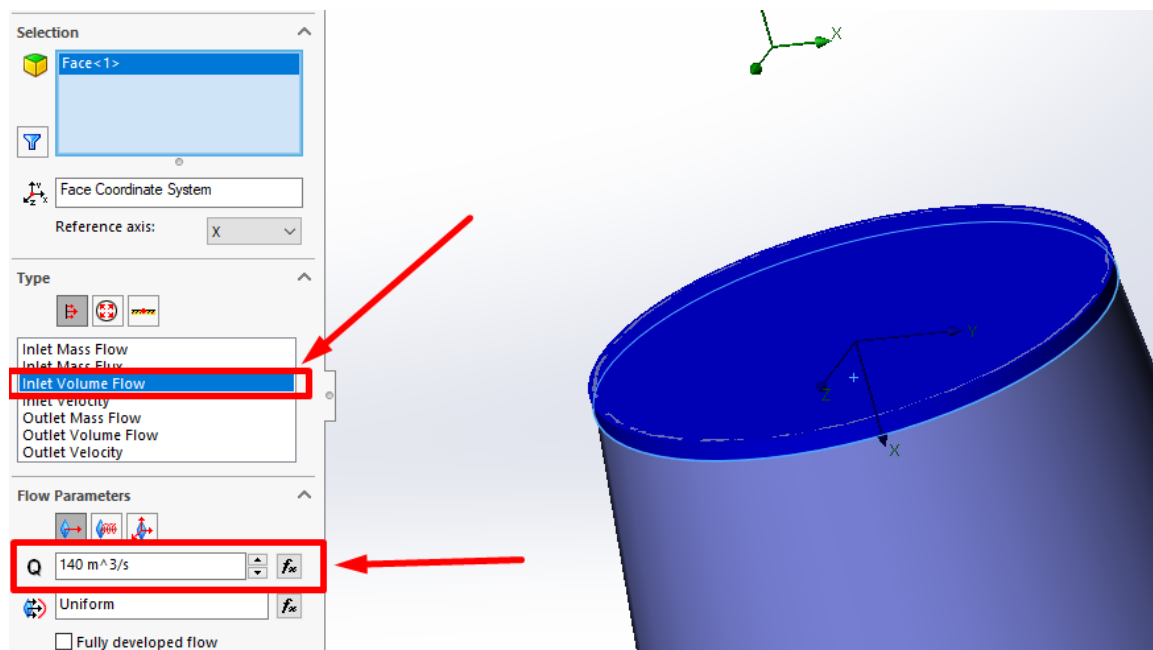


Рисунок 10.21 – Завдання значення об'ємної витрати на вході у відсмоктуючу трубу

4. Установіть **Volume Flow Rate Normal to Face** (Об'ємна витрата перпендикулярно до поверхні) на  $140 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 10.21).

5. Натисніть **ОК**. У дереві **Flow Simulation Analysis** з'явиться новий елемент **Inlet Volume Flow 1** (рис. 10.22).

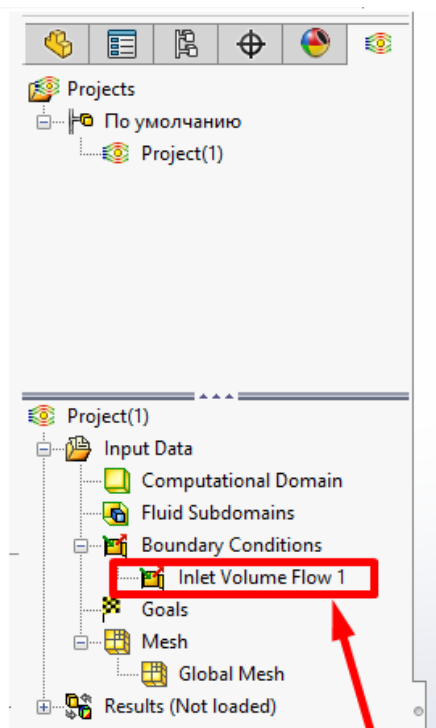


Рисунок 10.22 – Новий елемент Inlet Volume Flow 1

Виконана операція повідомила Flow Simulation, що через цей отвір у відсмоктуючу трубу гідротурбіни надходить  $140 \text{ м}^3$  води за секунду.

У цьому діалоговому вікні також можна задати завихрення потоку, неоднорідний профіль та часозалежні властивості потоку.

Відповідно до закону збереження маси, об'ємну витрату на виході зазначати не потрібно (маса потоку на вході дорівнює його масі на виході). Тому необхідно задати іншу умову. Для визначення цієї умови можна використовувати тиск на виході.

6. Виберіть внутрішню поверхню елемента **Lid 1 Face** (Грань 1) вихідного перетину відсмоктуючої труби.

Для доступу до внутрішньої поверхні натисніть ПКМ на **Lid 1 Face**, виберіть **Select Other**, і виберіть потрібну поверхню (рис. 10.23).

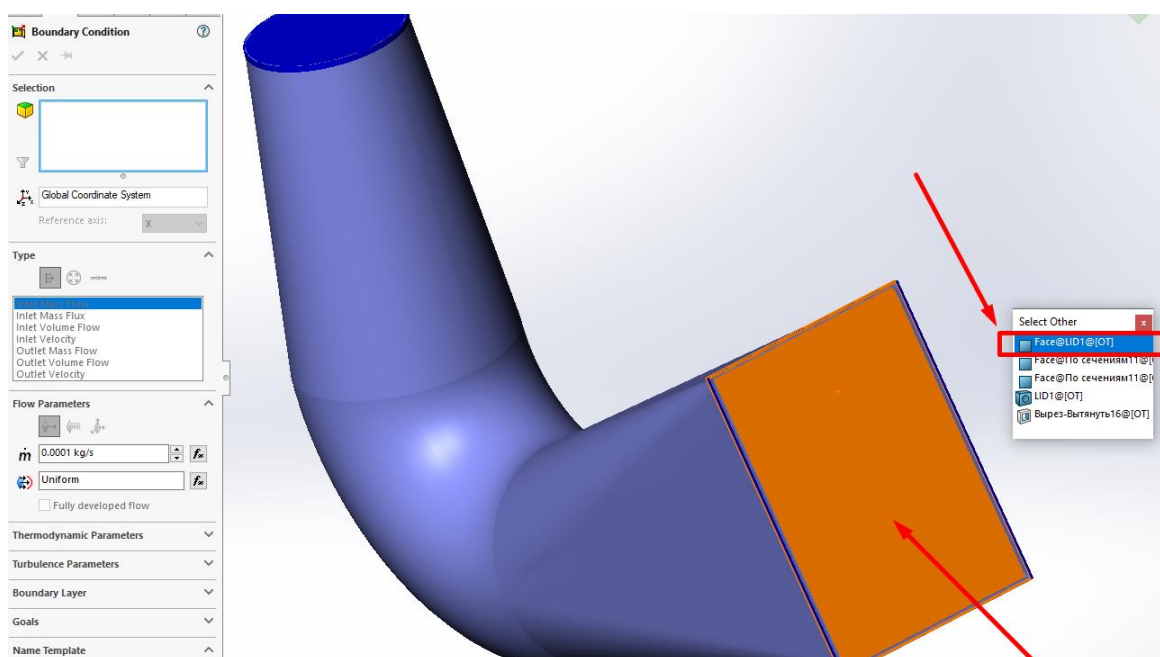


Рисунок 10.23 – Вибір внутрішньої площини заглушки на виході із відсмоктуючої труби

7. У дереві **Flow Simulation Analysis** натисніть ПКМ на значку **Boundary Conditions** та виберіть **Insert Boundary Condition**.

8. Виберіть **Pressure Openings** (Отвори за тиском) та **Static Pressure** (Статичний тиск) (рис. 10.24). Задаємо атмосферний тиск на виході.

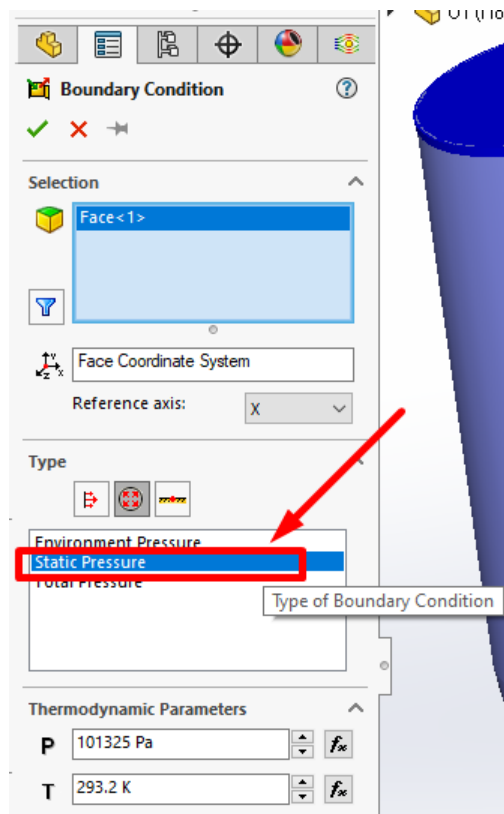


Рисунок 24 – Завдання статичного тиску на виході із відсмоктуючої труби

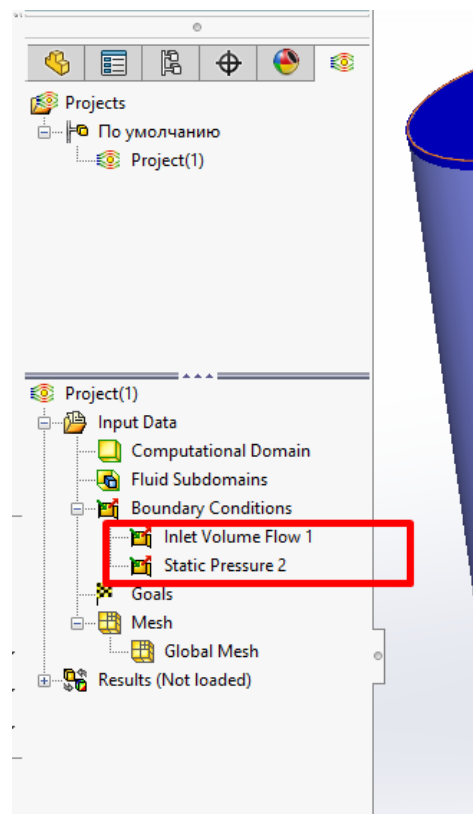


Рисунок 25 – Новий елемент Static Pressure 2

9. Залиште всі інші параметри за замовчуванням.
10. Натисніть **OK**. У дереві **Flow Simulation Analysis** з'явиться новий елемент **Static Pressure 2** (рис. 10.25).

Виконана операція повідомила Flow Simulation, що через цей отвір потік виходить у зону постійного атмосферного тиску.

### Постановка інженерного завдання

1. Натисніть ПКМ на значку **Goals** (Цілі) у дереві **Flow Simulation Analysis** (Аналіз Flow Simulation) і виберіть **Insert Surface Goals** (Додати поверхневі цілі) (рис. 10.26).
2. Натисніть на значок **Flow Simulation Analysis Tree** та виберіть **Inlet Volume Flow 1**, щоб виділити грань, до якої застосовано граничну умову.

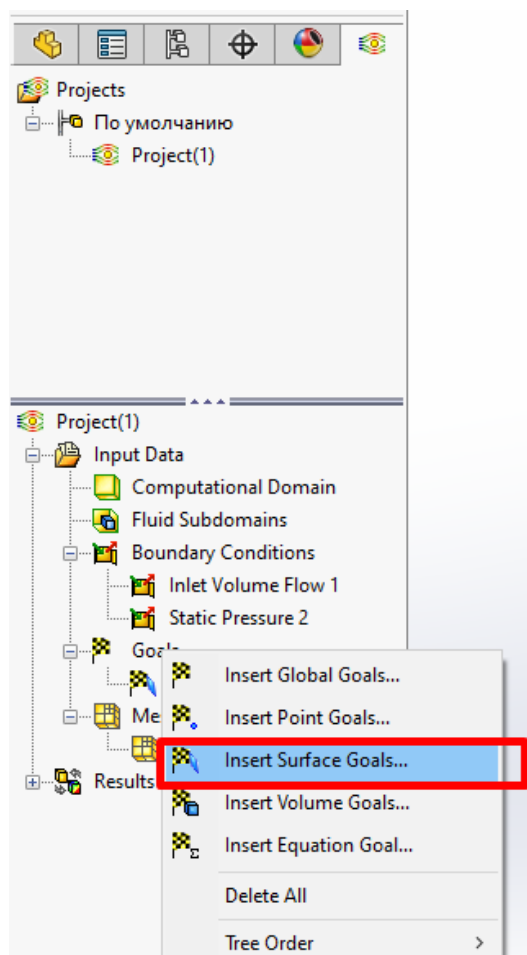


Рисунок 10.26 – Додавання цілей обчислення

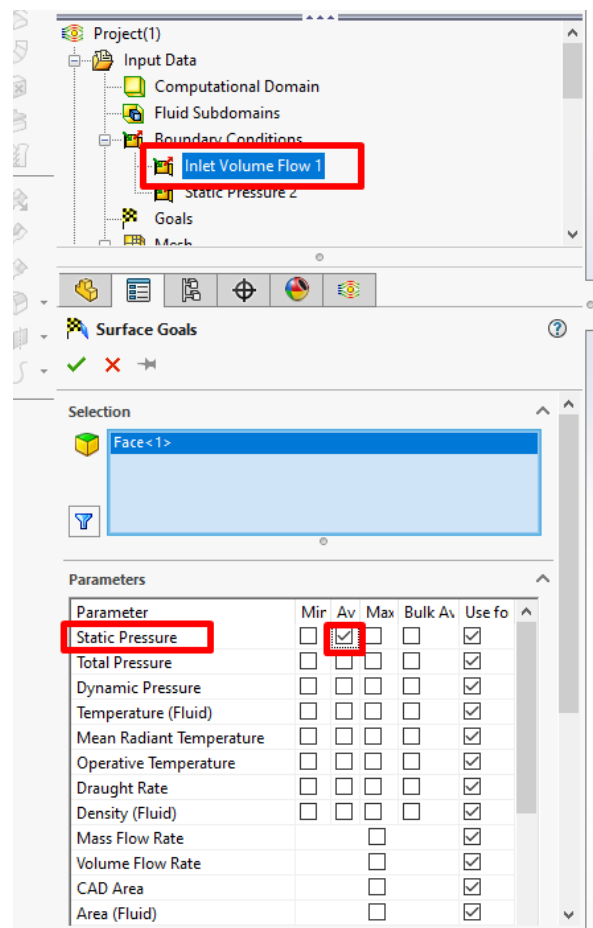


Рисунок 10.27 – Обчислювальні цілі для граничної умови Inlet Volume Flow 1

3. У графі **Parameter** (Параметр) активуйте стовпець **Av** для рядка **Static Pressure** (Статичний тиск) (рис. 10.27). Активована за замовчуванням опція **Use for Conv.** (Use for Convergence Control) означає, що ця мета буде використовуватися для контролю збіжності. Якщо опцію **Use for Conv.** не вибрано, то мета не буде критерієм завершення розрахунків.

Таку мету використовують як параметр моніторингу, що може надати додаткову інформацію про процеси, які відбуваються в моделі, не впливаючи на інші результати та час розрахунків.

4. Натисніть **OK**. Новий елемент **SG Av Static Pressure 1** (Середній статичний тиск SG Av 1) з'явиться у дереві **Flow Simulation Analysis** (рис. 10.28).

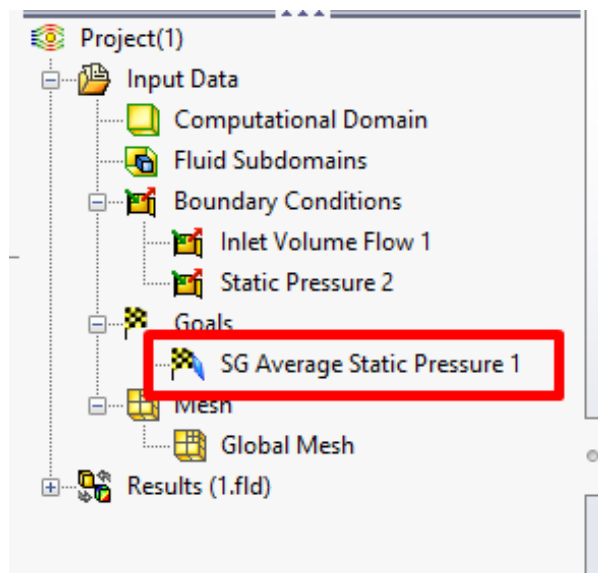


Рисунок 10.28 – Новий елемент SG Av Static Pressure 1

Інженерні завдання – це параметри, які безпосередньо цікавлять користувача. Встановлення інженерних завдань фактично є способом повідомити програмі, що саме ви хочете отримати в результаті аналізу, а також скорочує час, необхідний Flow Simulation для досягнення потрібного рішення. Під час встановлення змінних як інженерного завдання ви надаєте програмі інформацію про змінні, важливі для контролю збіжності (змінні, вибрані як мета), і змінні, які можуть бути менш точними (змінні, не встановлені як мета), для економії часу обчислень.

Інженерні завдання можуть встановлюватися:

- для всієї області розрахунків (**Global Goals** – Глобальні цілі),
- у вибраному об'ємі (**Volume Goals** – Об'ємні цілі),
- на вибраній поверхні (**Surface Goals** – Поверхневі цілі),
- або у вигляді точки (**Point Goals** – Точкові цілі).

Крім того, Flow Simulation може розрахувати середнє, мінімальне або максимальне значення встановленої мети.

Також можна задати мету, керовану рівнянням (**Equation Goal**). Рівняння може містити базові математичні функції разом із уже існуючими цілями як змінними. **Equation Goal** дозволяє обчислювати потрібні вам параметри

(наприклад, перепад тиску) та зберігати цю інформацію для подальшого використання.

Натисніть **File > Save** (Файл > Зберегти).

## Обчислення

1. Натисніть **Flow Simulation > Solve > Run** (Flow Simulation > Розрахунок > Запуск) (рис. 10.29). Опція **Load results** (Завантажити результати), вибрана за замовчуванням, означає, що після завершення обчислень результати будуть завантажені автоматично (рис. 10.30).

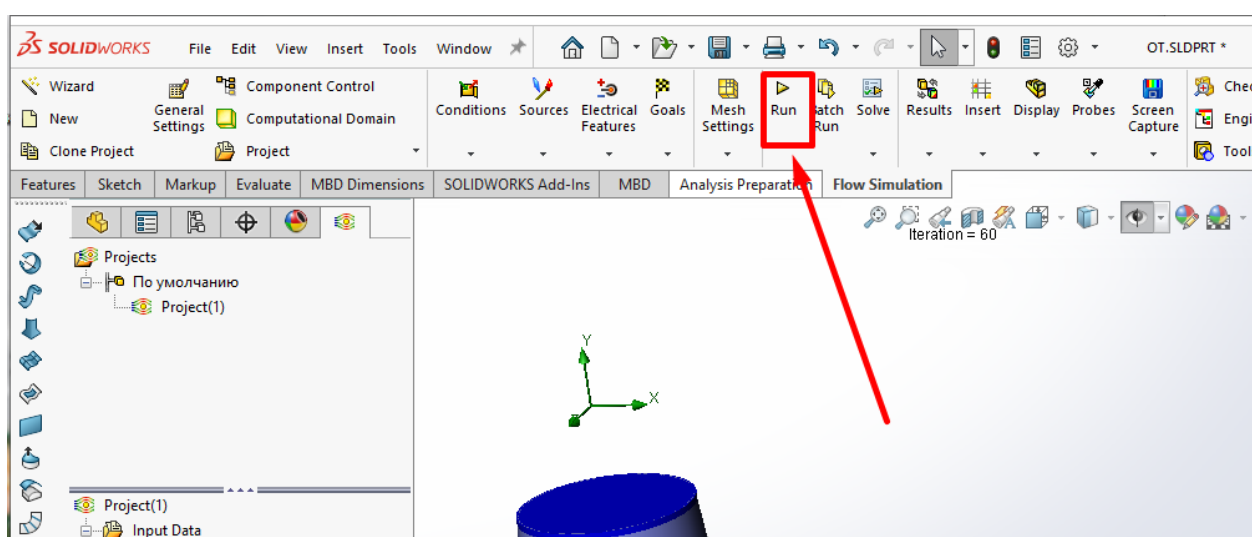


Рисунок 10.29 – Запуску обчислення в Flow Simulation

2. Натисніть **Run** (Запуск). Для даної задачі обчислення мають зайняти не більше хвилини на звичайному ПК.

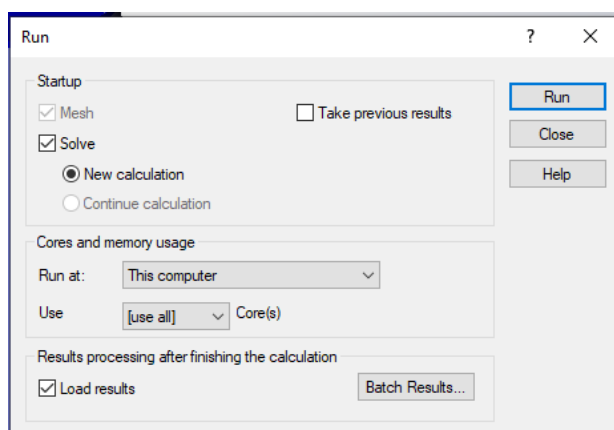


Рисунок 10.30 – Діалогове вікно при запуску обчислення в Flow Simulation

## Встановлення прозорості моделі

1. Натисніть **Flow Simulation > Results > Display > Transparency** (Flow Simulation > Результати > Відображення > Прозорість) та встановіть прозорість на 0,8 (рис. 10.31).

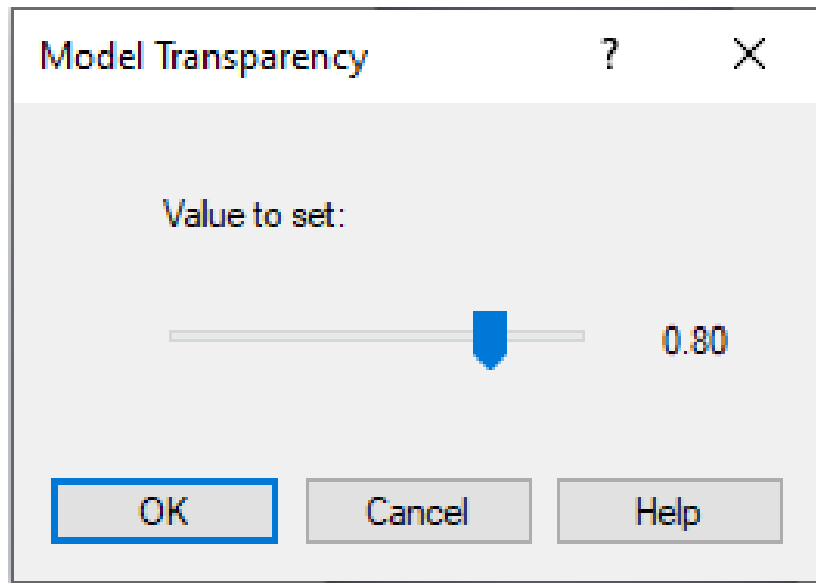


Рисунок 10.31 – Встановлення прозорості моделі

Першим кроком при аналізі результатів є встановлення рівня прозорості моделі (скляне тіло). Завдяки цьому ви легко можете бачити розташування січних площин та інших елементів відносно геометрії моделі.

## Січні площини

1. У дереві **Flow Simulation Analysis** натисніть ПКМ на значку **Cut Plots** (Січні епюри) і виберіть **Insert** (Додати) (рис. 10.32).

2. Вкажіть площину. Оберіть **Front Plane** як січну площину. Для цього у спливаючому дереві FeatureManager виділіть **Front Plane** (рис. 10.33).

У вкладці **Contours** (Контури) обираємо величину яка нас цікавить, наприклад тиск (**Pressure**). Кількість контурів виставляємо рівним 20 (рис. 10.33).

3. Натисніть **OK**.

В результаті отримуємо наступну епюру розподілу тиску (рис. 10.34).



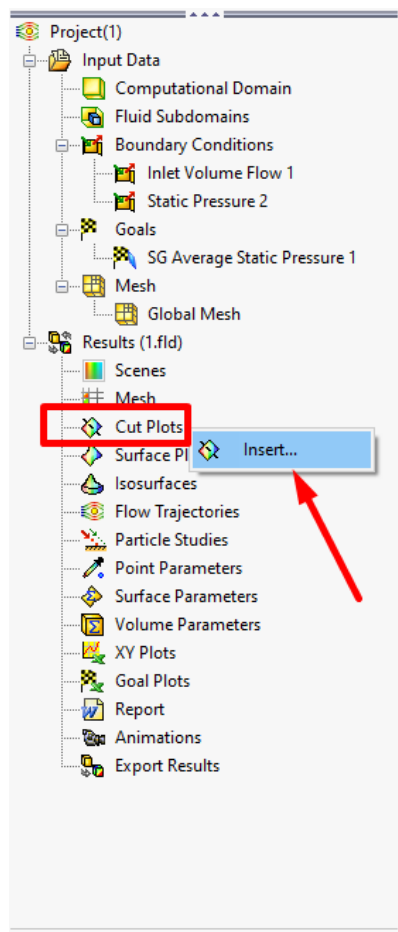


Рисунок 10.32 – Додавання січних епюр

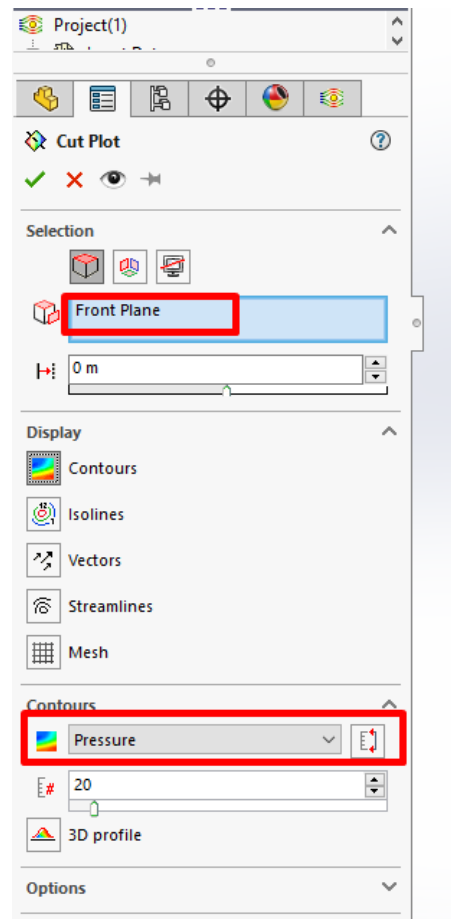


Рисунок 10.33 – Задання параметрів величин для відображення на епюрі

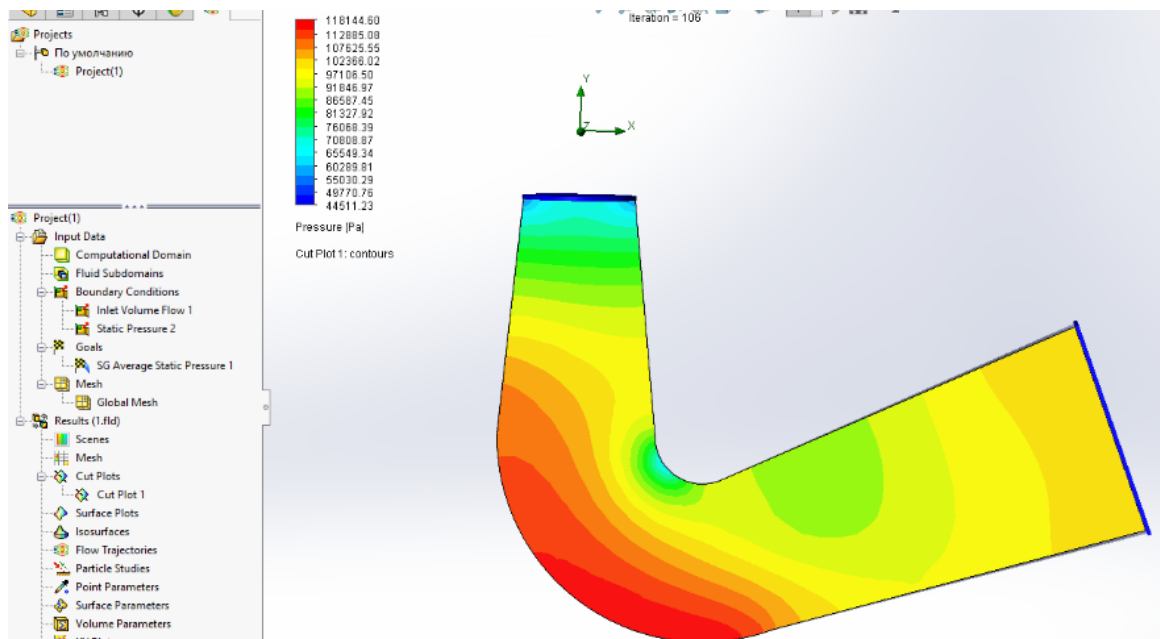


Рисунок 10.34 – Епюра розподілу тиску у перетині відсмоктуючої труби (площина спереду)

Січна площина відображає будь-які результати на будь-якій площині. Результати можуть бути представлені у вигляді контурів (**Contours**), ізоліній (**Isolines**), векторів (**Vectors**), або довільних комбінацій перелічених варіантів (наприклад, вектори поверх контурів).

Якщо виникає необхідність отримати доступ до додаткових опцій для цієї або інших епюр, ви можете:

- двічі клацнути ЛКМ на кольоровій шкалі,
- або натиснути ПКМ на значку **Results** в дереві **Flow Simulation Analysis** і вибрати **View Settings** (Налаштування перегляду) (рис. 10.35).

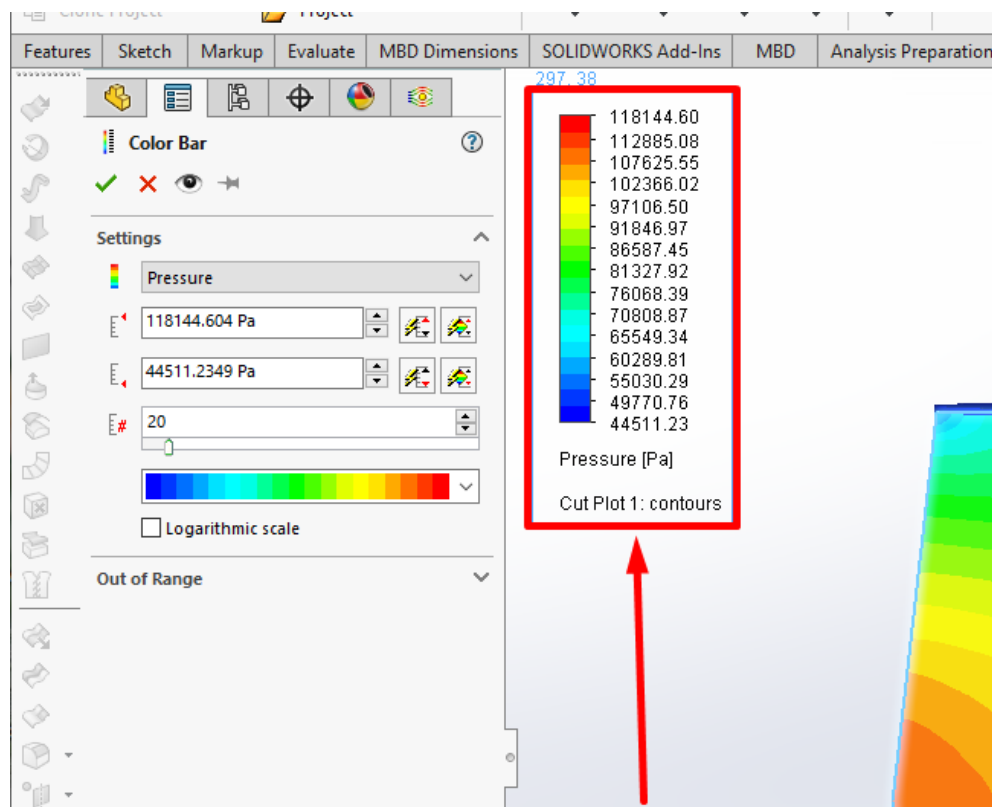


Рисунок 10.35 – Налаштування перегляду

У діалоговому вікні **View Settings** можна змінити глобальні опції для кожного типу епюр, наприклад:

- змінити параметри відображення,
- налаштувати кількість кольорів для шкали.

Найкращий спосіб ознайомитися з цими опціями – експериментувати з ними.

4. Змініть тип відображення епюри з контурів на вектори:

- Натисніть ПКМ на значку **Cut Plot 1** (Січна епюра 1) і виберіть **Edit Definition** (Редагувати визначення).

- Вимкніть опцію **Contours** та увімкніть **Vectors**.

- Натисніть **OK**.

В результаті отримаємо наступну епюру (рис. 10.36).

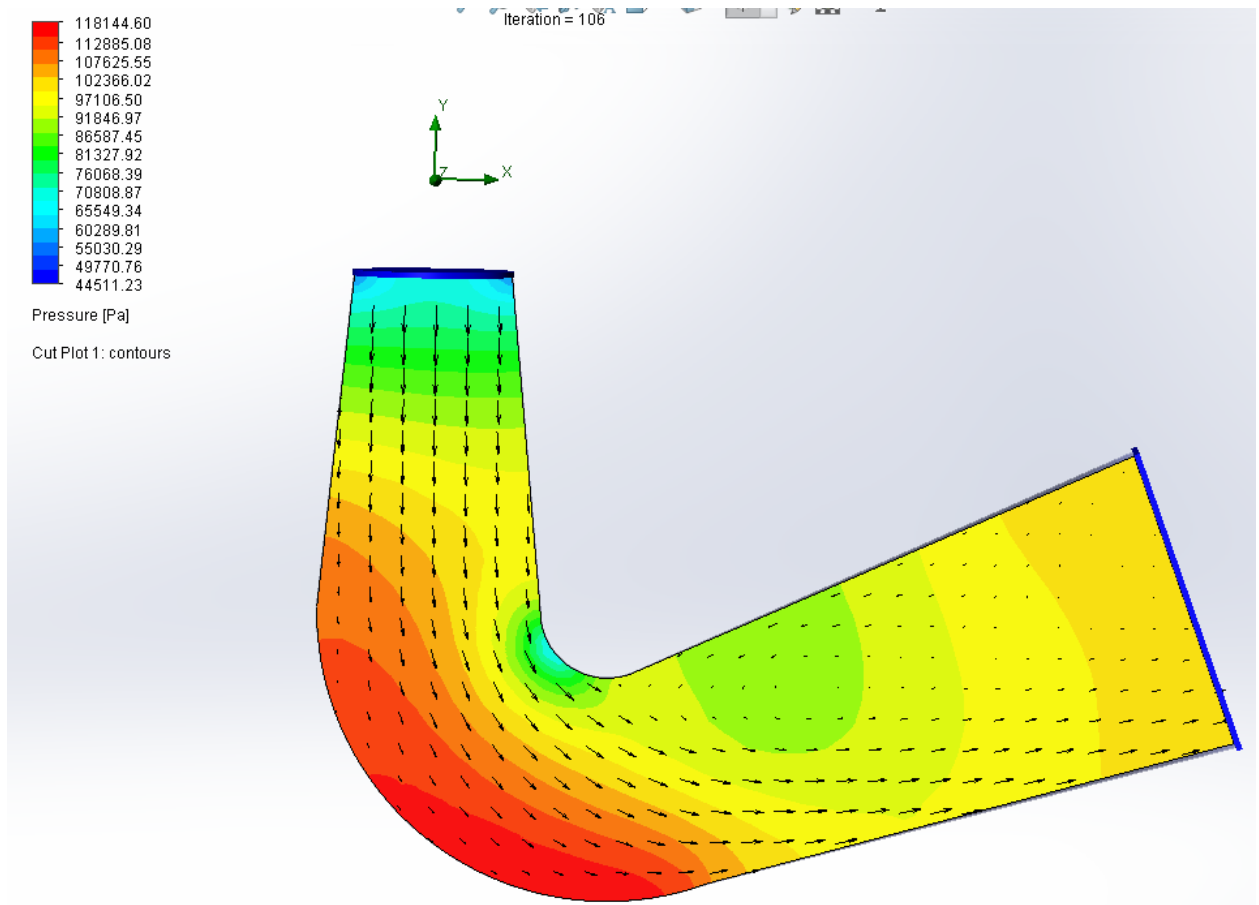


Рисунок 10.36 – Векторне представлення результатів

Розмір векторів можна збільшити у вкладці **Vectors** діалогового вікна **View Settings**. Також у вкладці **Settings** діалогового вікна **Cut Plot** можна змінювати відстань між векторами.

### Епюра поверхні

1. Натисніть ПКМ на значку **Cut Plot 1** і виберіть **Hide**.

2. Натисніть ПКМ на значку **Surface Plots** (Поверхневі епюри) і виберіть **Insert** (рис. 10.37).

3. Активуйте опцію **Use all faces** (Використовувати всі грані) (рис. 10.38).

Для епюри поверхні доступні ті самі основні опції, що і для січної площини. Сміливо експериментуйте з різними комбінаціями на власний розсуд.

4. Натисніть **ОК**. В результаті отримуємо епюру представлену на рисунку 10.39.

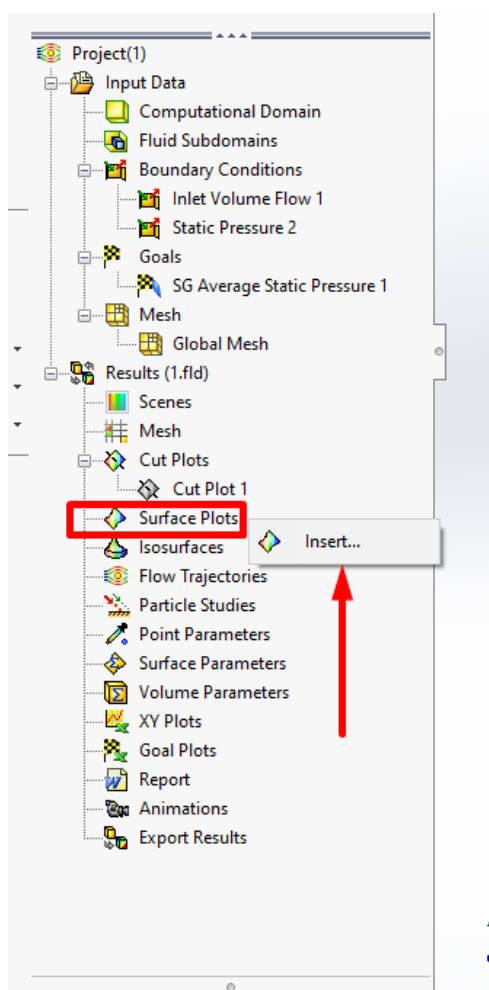


Рисунок 10.37 – Додавання поверхневої епюри

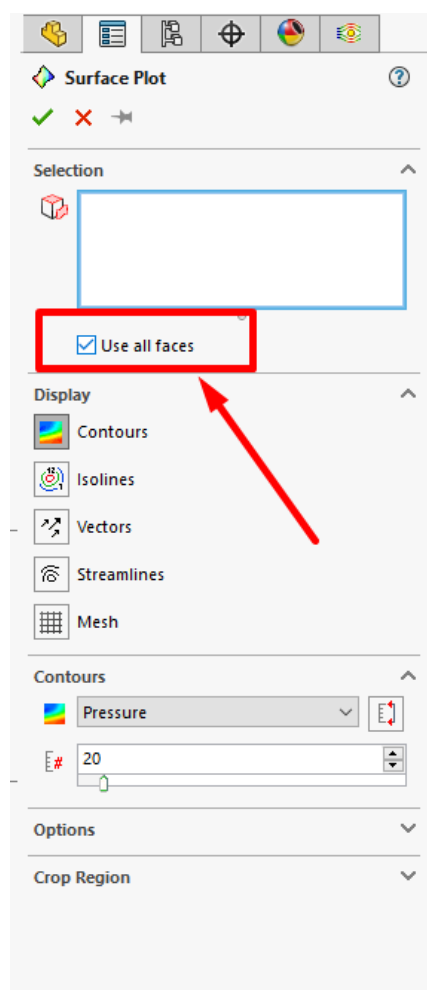


Рисунок 10.38 – Параметри поверхневої епюри

Ця епюра відображає розподіл тиску по всіх гранях відсмоктуючої труби, що контактують із протікаючим середовищем.

Також можна вибрати одну або кілька окремих поверхонь для цього типу епюр, навіть якщо вони не лежать в одній площині.

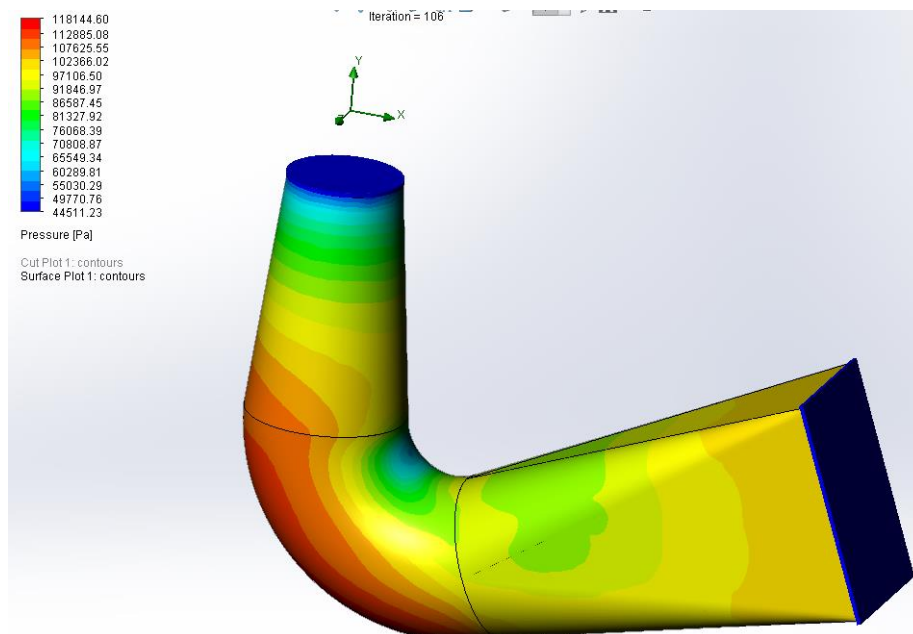


Рисунок 10.39 – Поверхнева епюра розподілу тиску

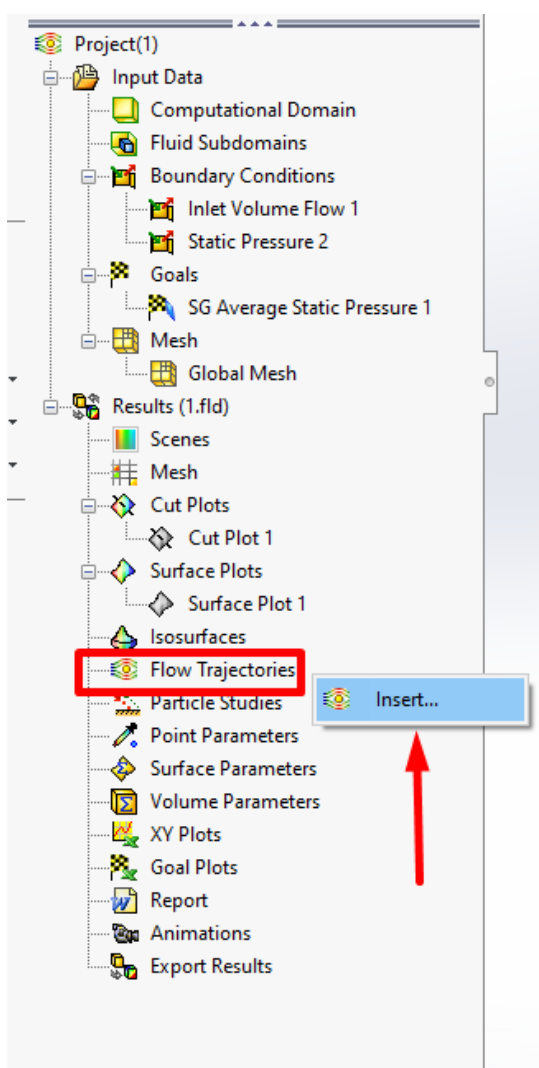


Рисунок 10.40 – Вставка траекторій потоку

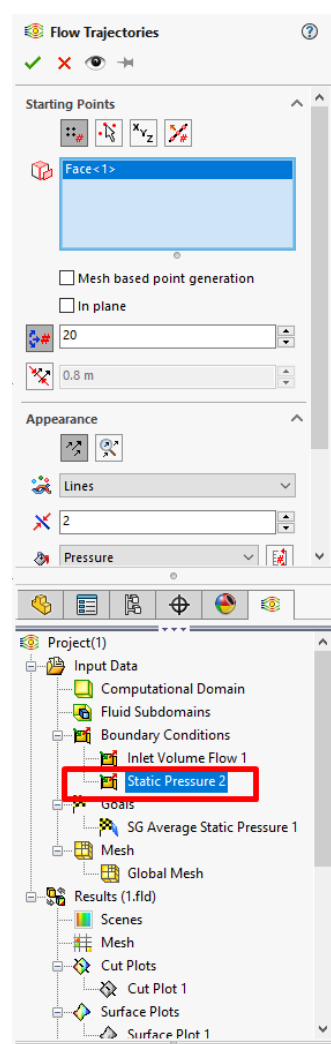


Рисунок 10.41 – Налаштування параметрів траекторій потоку

### Додавання траєкторії потоку

1. Натисніть ПКМ на значку **Isosurfaces** (Ізоповерхні) та виберіть **Hide**.
2. Натисніть ПКМ на значку **Flow Trajectories** (Траєкторії потоку) та виберіть **Insert** (див. рис. 10.40).
3. У дереві **Flow Simulation Analysis** клацніть по **Static Pressure 1** (Статичний тиск 1), щоб виділити внутрішню грань деталі **Lid 1 Face** (Грань 1).
4. Установіть кількість траєкторій (**Number of Trajectories**) на 20 (рис. 10.41).
5. Натисніть **ОК**. Ваша модель повинна мати наступний вигляд (рис. 10.42)

Використовуючи **Flow Trajectories**, можна спостерігати траєкторію руху протікаючого середовища. Цей інструмент забезпечує чудову можливість візуалізації тривимірного потоку.

Також можливо аналізувати зміни параметрів уздовж траєкторії, експортувавши дані в Microsoft Excel. Крім того, можна зберегти траєкторії як криві SolidWorks.

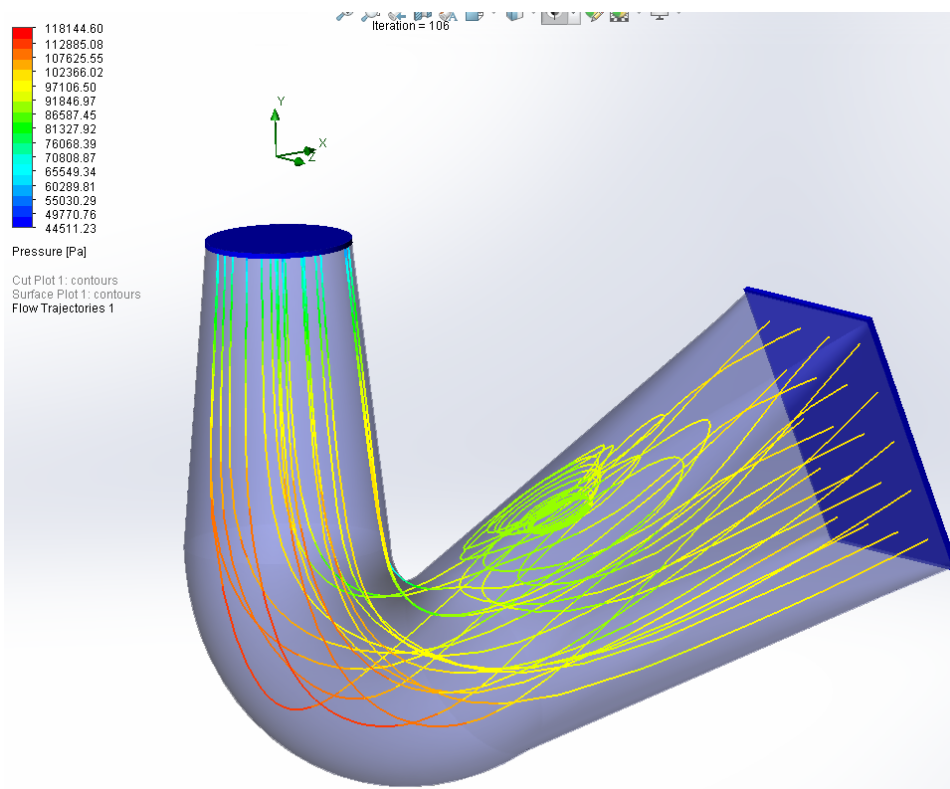


Рисунок 10.42 – Візуалізація потоку у вигляді траєкторій

У цьому завданні для епюри було обрано вихідний перетин відсмоктуючої труби, але можна вибрати будь-яку плоску грань або ескіз. Усі траєкторії перетинають обрану грань. Траєкторії також можуть бути зафарбовані відповідно до значень будь-яких змінних, вибраних у діалоговому вікні **View Settings**.

### Інструмент Surface Parameters (Параметри поверхні)

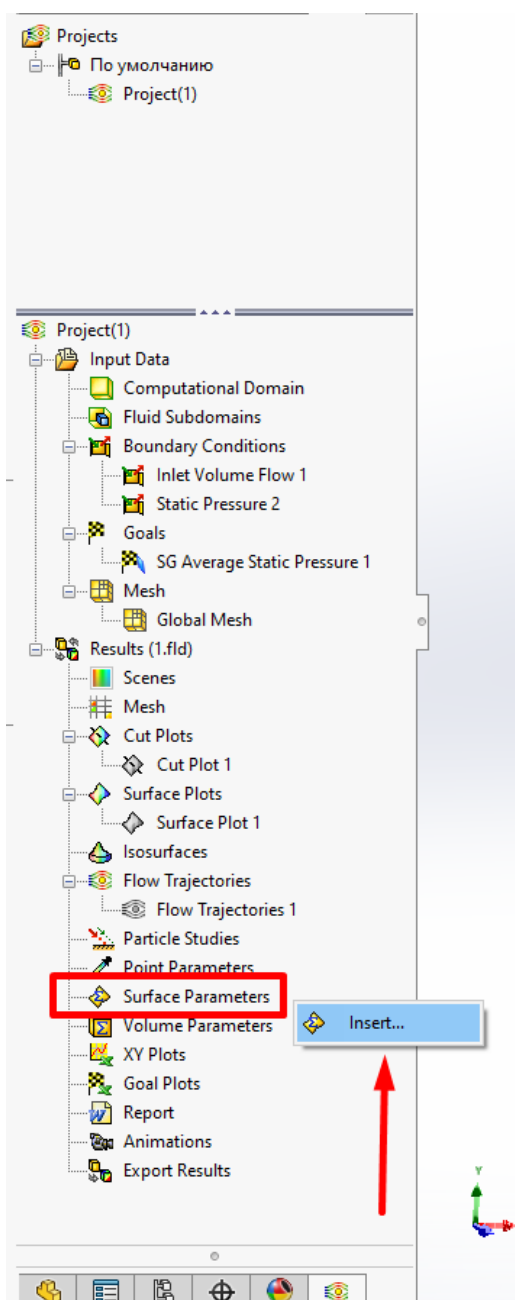


Рисунок 10.43 – Вставка параметрів поверхні

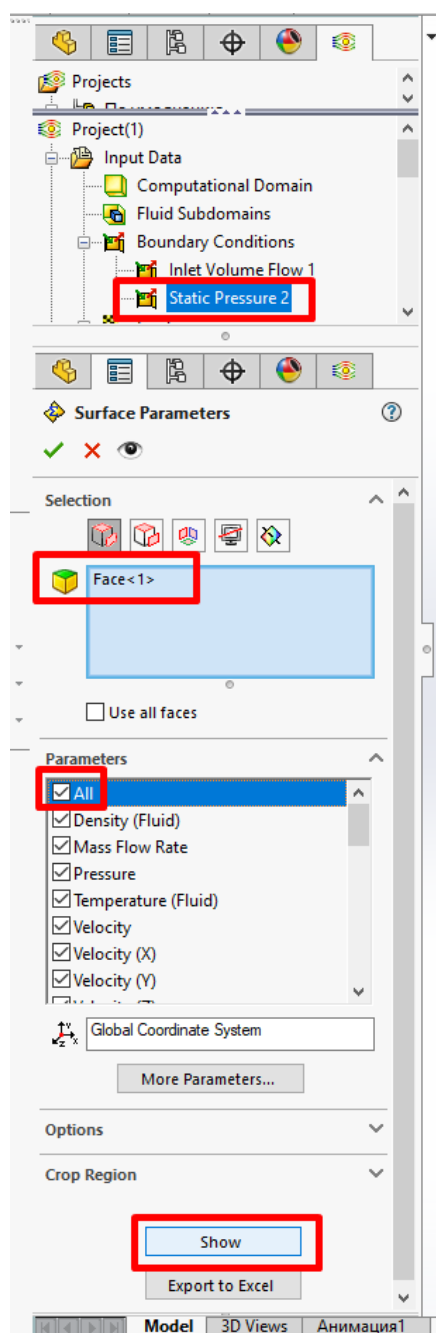


Рисунок 10.44 – Налаштування параметрів поверхні

Цей інструмент використовується для визначення тиску, сил, теплових потоків та інших змінних на будь-якій грані моделі, яка контактує з протікаючим середовищем.

Для прикладу визначимо параметри у вихідному перетині відсмоктуючої труби.

1. Натисніть ПКМ на значку **Surface Parameters** та виберіть **Insert** (рис. 10.43).

2. У дереві **Flow Simulation Analysis** клацніть по об'єкту **Static Pressure 2**, щоб вибрати внутрішню грань деталі **Lid 1 Face** (Грань 1).

3. У вкладці **Parameters** поставте галочку на пункті **All** (рис. 10.44). Натисніть **Show**.

В полі програми з'явиться наступний вигляд з чисельними значеннями величин у вибраному вихідному перетині відсмоктуючої труби (рис. 10.45).

4. Закрийте діалогове вікно **Surface Parameters**.

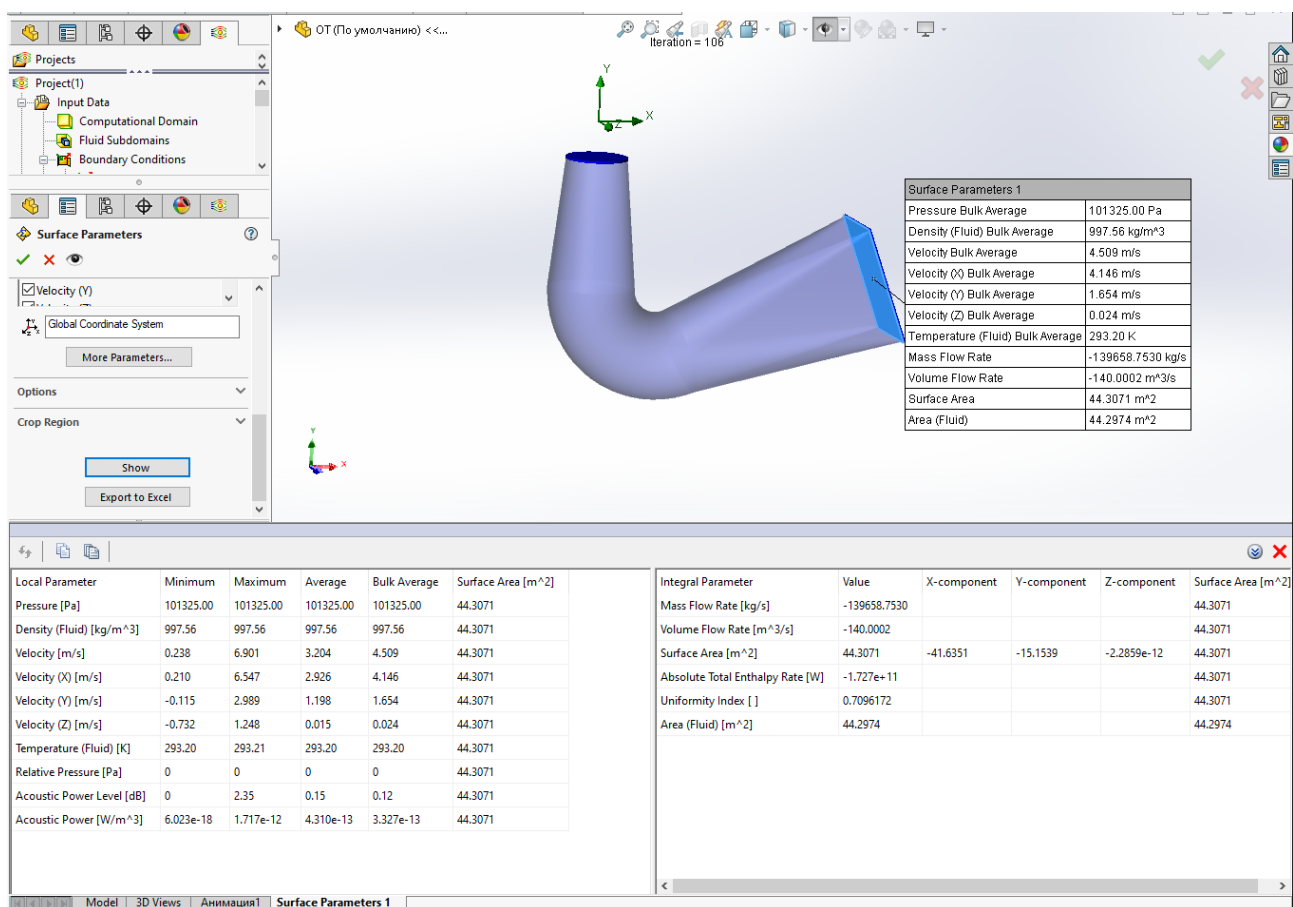


Рисунок 10.45 – Чисельні значення параметрів потоку у вихідному перетині



## Створення звіту про дослідження у Flow Simulation

Одним із важливих етапів роботи з Flow Simulation є створення звіту, що дозволяє узагальнити результати дослідження, зберегти їх у зручному форматі для аналізу або представлення. Команда **Report** (Звіт) у Flow Simulation автоматизує процес формування документа, включаючи ключову інформацію про налаштування, результати та візуалізацію.

Перед створенням звіту переконайтеся, що всі необхідні результати розрахунку доступні та обрані для відображення. Рекомендується налаштувати вигляд моделі, графіків і інших візуалізацій у графічній області для отримання чіткого звіту.

У дереві **Flow Simulation Analysis** клацніть по **Report** та виберіть команду **Create** (Створити) (рис. 10.46).

У вікні налаштувань є всі необхідні інструменти для створення якісного звіту.

В даному випадку скористаємося вкладкою **From Template** (З шаблону) (рис. 10.47) та виберемо шаблон **flow simulation report** (рис. 10.48).

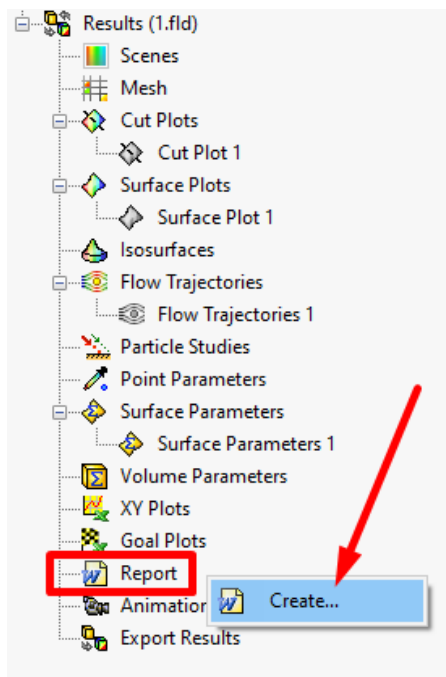


Рисунок 10.46 – Створення звіту

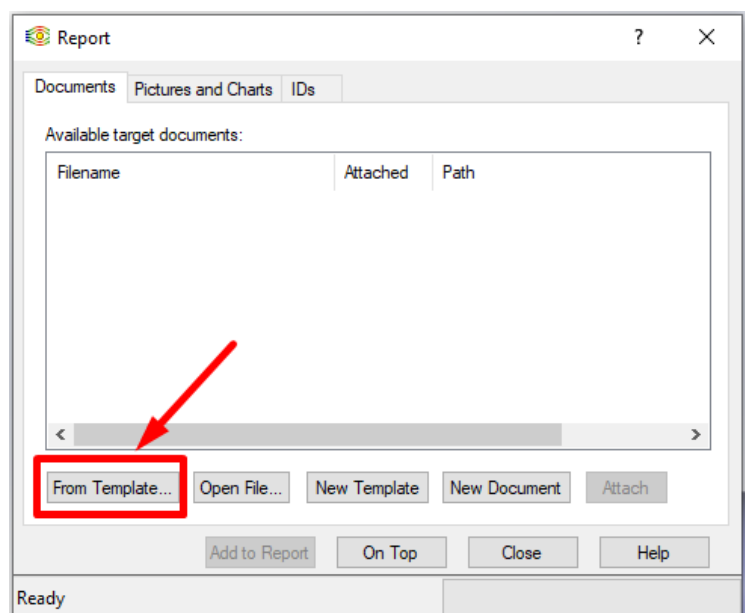


Рисунок 10.47 – Налаштування звіту, вибір шаблону

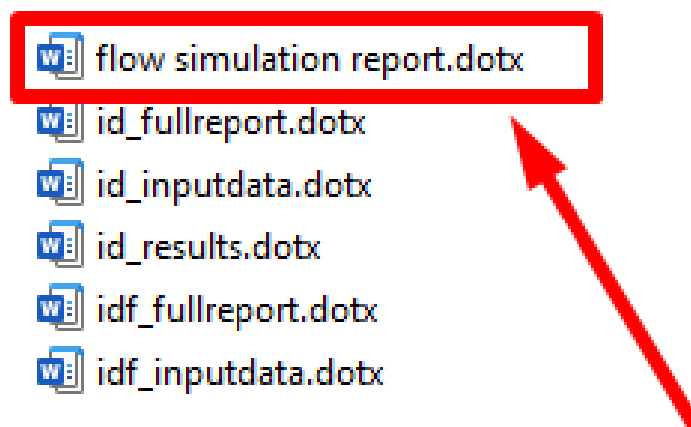


Рисунок 10.48 – Обраний шаблон звіту

### Перегляд і збереження звіту

Після створення звіт відкриється у вибраному форматі (рис. 10.49).

Перевірте звіт, щоб переконатися в коректності відображення даних.

Збережіть звіт у зручній папці для подальшого використання.

Використання команди **Report** у Flow Simulation значно спрощує процес документування результатів дослідження, забезпечуючи структуровану та наочну презентацію отриманих даних.

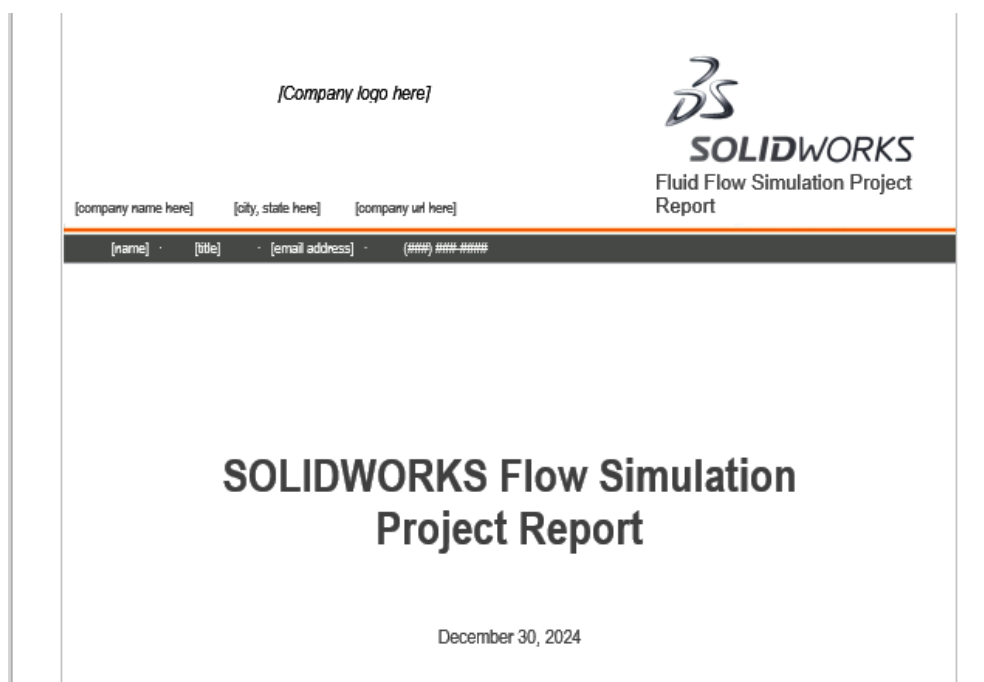


Рисунок 10.49 – Звіт проекту

## 10.4 Висновки

У даному розділі було розглянуто базовий приклад чисельного розрахунку потоку у відсмоктуючій трубі гідротурбіни. Цей приклад мав на меті продемонструвати основні можливості програмного забезпечення Flow Simulation для проведення інженерного аналізу.

Під час виконання задачі було показано основні етапи роботи з програмою, включаючи встановлення граничних умов, визначення інженерних завдань, налаштування параметрів і виконання розрахунків. Ці кроки дозволили ознайомитися з базовим функціоналом Flow Simulation та його застосуванням у моделюванні складних гідродинамічних процесів.

Проте важливо зазначити, що для навчального прикладу були застосовані певні спрощення, які не завжди є доцільними у реальних інженерних задачах. Одним із таких спрощень стало використання мінімально необхідного набору параметрів для проведення розрахунків. У реальних умовах для забезпечення високої точності та коректності моделювання необхідно враховувати значно більше факторів і встановлювати додаткові параметри. Зокрема, важливу роль відіграють налаштування турбулентності, параметри циркуляції, визначення початкових умов і точність розрахункової сітки. Ці аспекти впливають на точність отриманих результатів та на стабільність збіжності розрахунків.

Одним із ключових параметрів, що потребує особливої уваги, є налаштування розрахункової сітки. У Flow Simulation існують широкі можливості для створення розрахункової сітки, яка може бути як глобальною, так і локальною. Грамотний підхід до її налаштування дозволяє суттєво підвищити точність розрахунків у критичних областях, таких як зони зі складними потоковими характеристиками або місця з великими градієнтами тиску та швидкості. Для забезпечення більш реалістичного моделювання слід детально аналізувати геометрію моделі, визначати області, які потребують підвищеної деталізації, і відповідним чином налаштовувати параметри сітки.

Ще одним важливим фактором є встановлення параметрів турбулентності. Flow Simulation пропонує декілька моделей турбулентності, які можна

застосовувати залежно від характеру задачі. Кожна з моделей має свої особливості, і вибір відповідної моделі вимагає від користувача розуміння фізичних процесів, що відбуваються у моделі, а також досвіду роботи з програмою.

Крім того, для випадку відсмоктуючої труби необхідно враховувати циркуляцію потоку на виході із робочого колеса гідротурбіни. Введення цього параметра дозволяє більш точно відобразити рух потоку через задані області.

Flow Simulation має весь необхідний функціонал для виконання точних і коректних розрахунків навіть для складних інженерних задач. Завдяки широким можливостям налаштування параметрів, автоматизації процесів і моніторингу цілей програма дозволяє зосередитися на отриманні якісного результату, забезпечуючи високий рівень достовірності даних.

Таким чином, Flow Simulation є потужним інструментом для аналізу потоків рідини в різноманітних інженерних задачах, включаючи моделювання компонентів гідротурбін. Однак для отримання максимально точних результатів користувачу необхідно детально вивчати та застосовувати всі можливості програми, враховуючи складність фізичних процесів, що моделюються.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які фізичні процеси можна моделювати за допомогою Flow Simulation?
2. Як Flow Simulation інтегрується із середовищем SolidWorks?
3. Як моделювання дозволяє оцінити ефективність конструкції гідромашини?
4. Які параметри визначаються на етапі створення проекту у Flow Simulation?
5. Що таке граничні умови, і як їх задають для моделювання внутрішніх потоків?
6. Що таке траєкторії потоку, і як вони допомагають візуалізувати результати?
7. Які обмеження має Flow Simulation у моделюванні багатозфазних течій?

8. Які аспекти слід враховувати під час налаштування розрахункової сітки?
9. Як автоматизується створення звіту про дослідження у Flow Simulation, і які дані він включає?
10. Якщо у вашій моделі виникає значна турбулентність, які зміни у геометрії чи налаштуваннях Flow Simulation ви б запропонували для її зменшення?

### Практичне завдання

В даному завданні необхідно провести чисельне дослідження потоку у відсмоктуючій трубі вертикальної осьової гідротурбіни з використанням FlowSimulation. Види та розміри моделі відсмоктуючої труби приведено на рисунку 10.50. При завданні граничних умов прийняти розрахункову витрату через гідротурбіну  $Q = 425 \text{ м}^3/\text{сек.}$

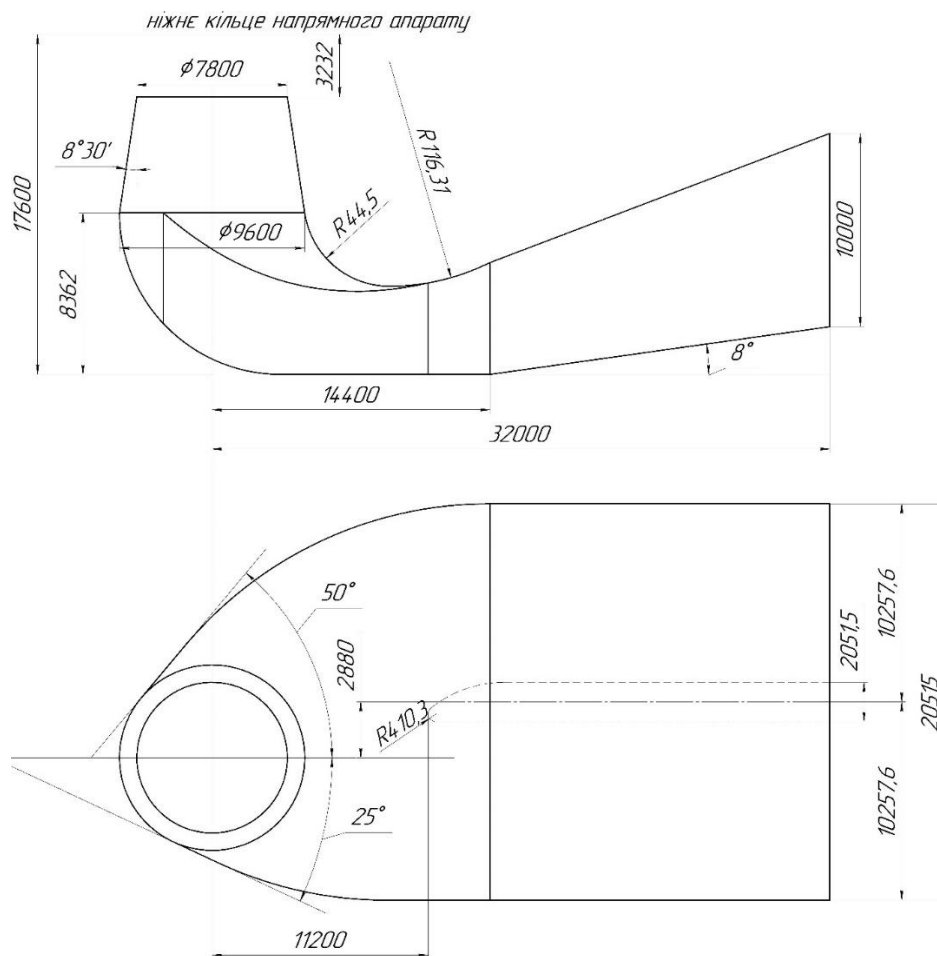


Рисунок 10.50 – Види та розміри розрахункової моделі відсмоктуючої труби

## 11 РОБОТА З КРЕСЛЕННЯМИ

### 11.1 Вступ

Креслення є невід’ємною частиною інженерного проектування та виробничого процесу, оскільки саме вони слугують основним засобом передачі конструктивних і технічних рішень від розробника до виконавця.

У сучасному інженерному середовищі використання CAD-програм дозволяє значно спростити та автоматизувати процес створення креслень.

Цей розділ присвячено основним принципам і методам роботи з кресленнями у SolidWorks. Особливу увагу буде приділено можливостям, які надає програмне забезпечення для створення креслень деталей і збірок, їх редагування та додавання різних видів технічних позначень.

Розуміння принципів створення креслень у CAD-середовищі є важливим етапом у підготовці фахівців інженерних спеціальностей, адже це забезпечує ефективне застосування цифрових технологій у реальних виробничих умовах. У цьому розділі розглянуто основні техніки створення точних креслень відповідно до сучасних стандартів і виробничих вимог.

### 11.2 Початок роботи з кресленнями у програмі SolidWorks

Після створення твердотільних моделей або збірок необхідно згенерувати двовимірні (2D) види креслення. Ці види є основою всіх виробничих систем, оскільки на виробничому цеху або майданчику машинобудування креслення необхідні для виготовлення деталей. SOLIDWORKS забезпечує спеціалізоване середовище, відоме як **Drawing mode** (Режим креслення), яке містить усі інструменти, необхідні для створення та модифікації видів креслення, а також додавання розмірів і позначень. Іншими словами, у цьому режимі можна створити фінальне креслення для виробництва.

У **Drawing mode** можна також виконувати ескізи 2D-креслень за допомогою інструментів ескізування, доступних у цьому режимі. Таким чином, у SOLIDWORKS є два методи створення креслень:

- **Generative drafting** (Генеративне креслення) – це техніка створення видів креслення на основі твердотільної моделі або збірки.

- **Interactive drafting** (Інтерактивне креслення) – це техніка створення ескізів у **Drawing mode** за допомогою інструментів ескізування.

У цьому розділі розглянуто як створювати креслення деталей або збірок за допомогою методу генеративного креслення.

Однією з головних переваг роботи в SOLIDWORKS є властивість двосторонньої асоціативності. Ця властивість забезпечує, що зміни, внесені в модель у **Part mode** (Режим деталі), автоматично відображаються у **Assembly** (Режим збірки) і **Drawing mode**, і навпаки.

### 11.3 Створення креслень у програмі SolidWorks

#### Завдання 1

У цьому завданні розглянуто створення виду спереду (**Front view**), виду зверху (**Top view**), виду справа (**Right view**), суміщеного розрізу (**Aligned Section View**), детального виду (**Detail View**) та ізометричного виду (**Isometric View**) моделі, створеної в Завданні 5 Розділу 6.

Для створення цих видів використовуйте стандартний формат аркуша A4 Landscape (Альбомний формат).

#### Послідовність дій для виконання завдання:

- а) Скопіюйте файл деталі з Завдання 5 розділу 6 у папку поточного розділу.
- б) Відкрийте скопійований файл деталі та створіть новий документ креслення на основі цього файлу.
- в) Виберіть стандартний формат аркуша A4 Landscape і згенеруйте головний вид (**Parent view**) (див. рисунок 11.4).
- г) Створіть проєкційні види за допомогою інструмента **Projected View** (рис. 11.4).
- д) Згенеруйте суміщений розріз за допомогою інструмента (рис. 11.5–11.7).
- е) Створіть детальний вид (див. рис. 11.8).
- ж) Збережіть та закрийте документ креслення.

## Створення нового документа креслення

Для створення видів креслення необхідно розпочати новий документ креслення. У SOLIDWORKS є два способи це зробити:

- За допомогою діалогового вікна **New SOLIDWORKS Document**.
- За допомогою опції, доступної у файлі **Part** або **Assembly**.

У цьому завданні новий документ креслення буде створено безпосередньо з файлу деталі. Завдяки цьому модель у файлі деталі буде автоматично вибрана, і можна буде створити її види креслення.

1. Виберіть кнопку **Make Drawing from Part/Assembly** (Створити креслення з деталі/збірки) у розкритому меню **New** в **Menu Bar** (рис. 11.1). Після цього відкриється діалогове вікно **Sheet Format/Size** (Формат/Розмір аркуша), як показано на рисунку 11.2.

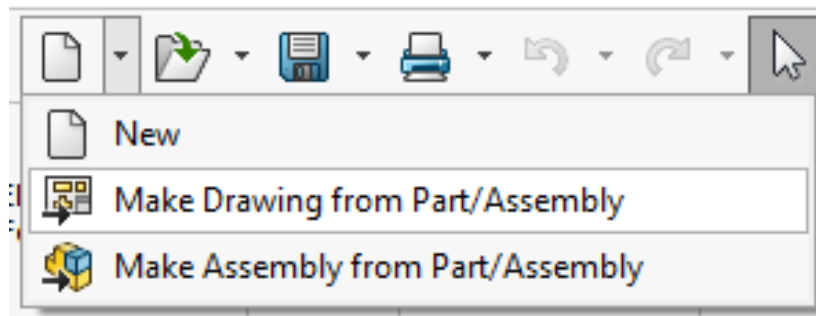


Рисунок 11.1 – Кнопка Make Drawing from Part/Assembly у розкритому меню New

### Порада

Також можна створити документ креслення через діалогове вікно **New SOLIDWORKS Document**. Для цього:

- Виберіть кнопку **New** в **Menu Bar**.
- У діалоговому вікні виберіть **Drawing** (Креслення), а потім натисніть **OK**.

2. Зніміть прапорець **Only show standard formats** (Показувати лише стандартні формати), якщо його встановлено за замовчуванням. Далі виберіть



формат аркуша A4 (ANSI) Landscape зі списку в цьому діалоговому вікні та натисніть **OK**.

Буде створено новий документ креслення зі стандартним аркушем A4, а справа у вікні креслення відкриється панель **View Palette** (Палітра видів), як продемонстровано на рисунку 11.3.

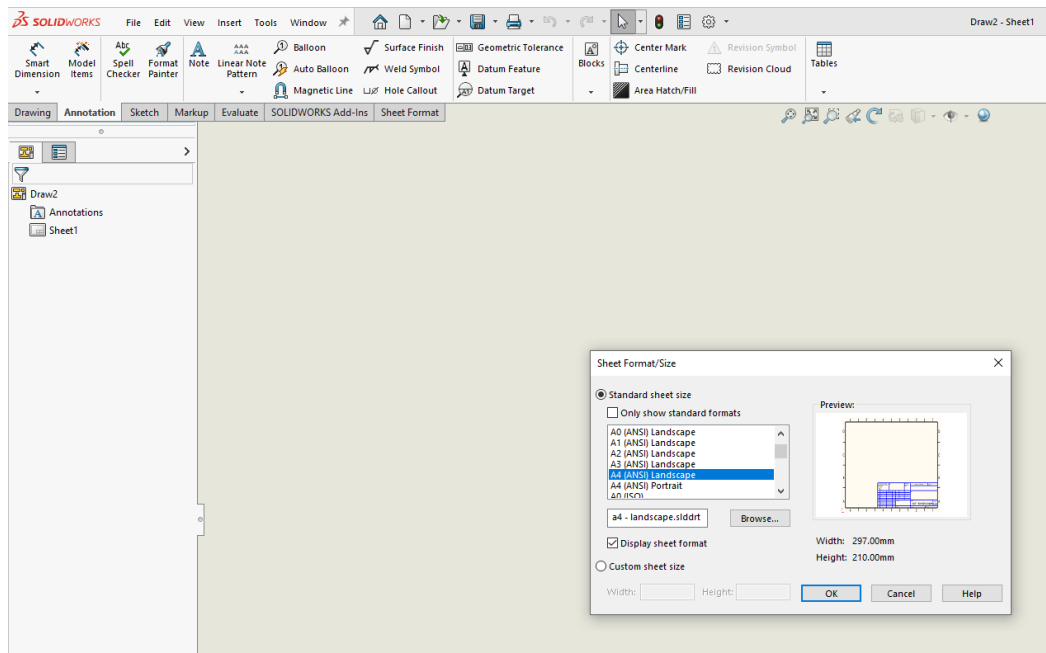


Рисунок 11.2 – Початковий екран документа креслення з діалоговим вікном Sheet Format/Size

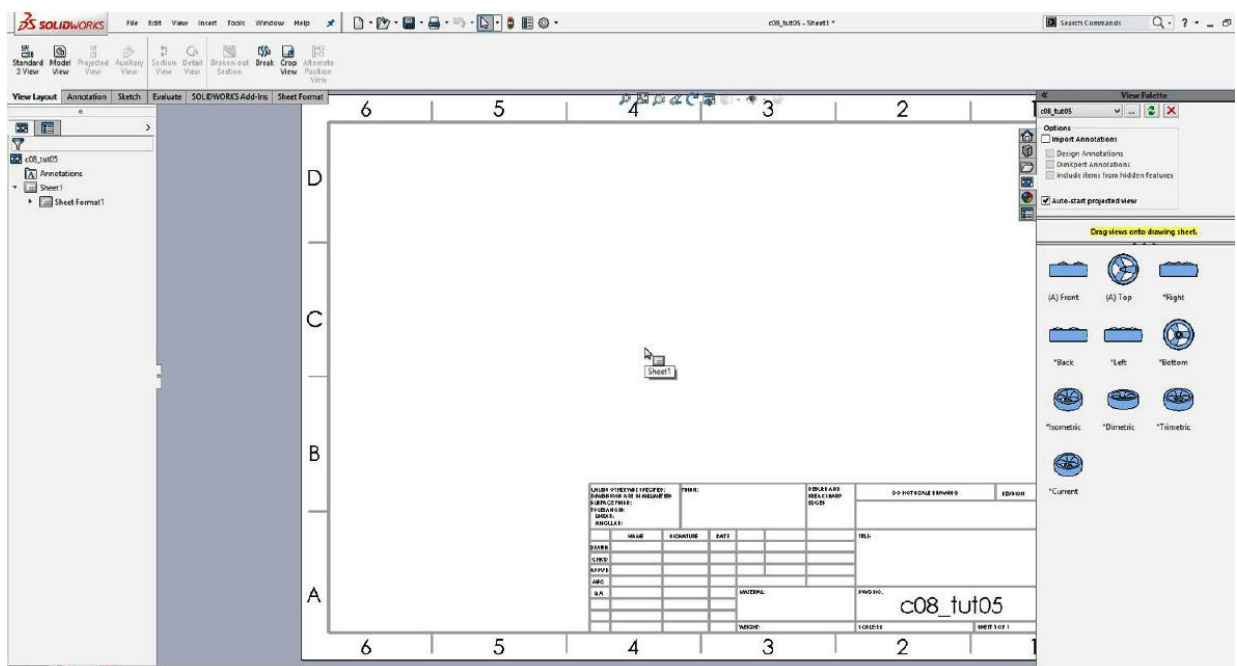


Рисунок 11.3 – Новий документ креслення з панеллю View Palette

Діалогове вікно **Sheet Format/Size** використовується для вибору формату та розміру аркуша. Можна вибрати стандартний шаблон розміру аркуша зі списку або налаштувати розмір аркуша вручну, обравши перемикач **Custom sheet size** (Індивідуальний розмір аркуша). Після вибору цього перемикача поля **Width** (Ширина) та **Height** (Висота) стануть доступними для введення потрібних значень.

### ***Порада***

*Якщо натиснути **Cancel** у діалоговому вікні **Sheet Format/Size**, у документ креслення буде додано порожній аркуш із розмірами 431.80 мм × 279.40 мм.*

### **Створення основного та проекційних видів**

Перед тим як створювати види креслення, необхідно перевірити, чи встановлено тип проекції для поточного аркуша на третій кут.

1. Натисніть будь-де на аркуші, щоб закрити панель **View Palette**. У дереві проекту **FeatureManager Design Tree** виберіть **Sheet1** (Аркуш1) і клацніть правою кнопкою миші, щоб відкрити контекстне меню. Далі оберіть пункт **Properties** (Властивості); відкриється вікно **Sheet Properties** (Властивості аркуша).

2. У секції **Type of projection** (Тип проекції) виберіть перемикач **Third angle** (Третій кут), якщо вона не вибрана за замовчуванням, і натисніть **OK**.

3. Перейдіть на вкладку **View Palette**, щоб відкрити відповідну панель.

4. У панелі **View Palette** виберіть **Front view** (Вид спереду), перетягніть його на середню ліву частину аркуша та відпустіть, щоб розмістити його (див. рис. 10.4).

Вид спереду буде створено та розташовано на цій позиції. Цей вид генерується з масштабом 1:10. Зверніть увагу, що автоматично відкриється вікно **Projected View PropertyManager** (Диспетчер властивостей проекційного виду), а до курсора буде прикріплено попередній перегляд проекційного виду.

5. Перемістіть курсор у верхню частину переднього виду та вкажіть точку для розташування виду зверху (рис. 11.4). Вид зверху моделі буде створено, і попередній перегляд наступного проекційного виду, пов'язаного з видом спереду, буде прикріплено до курсора.

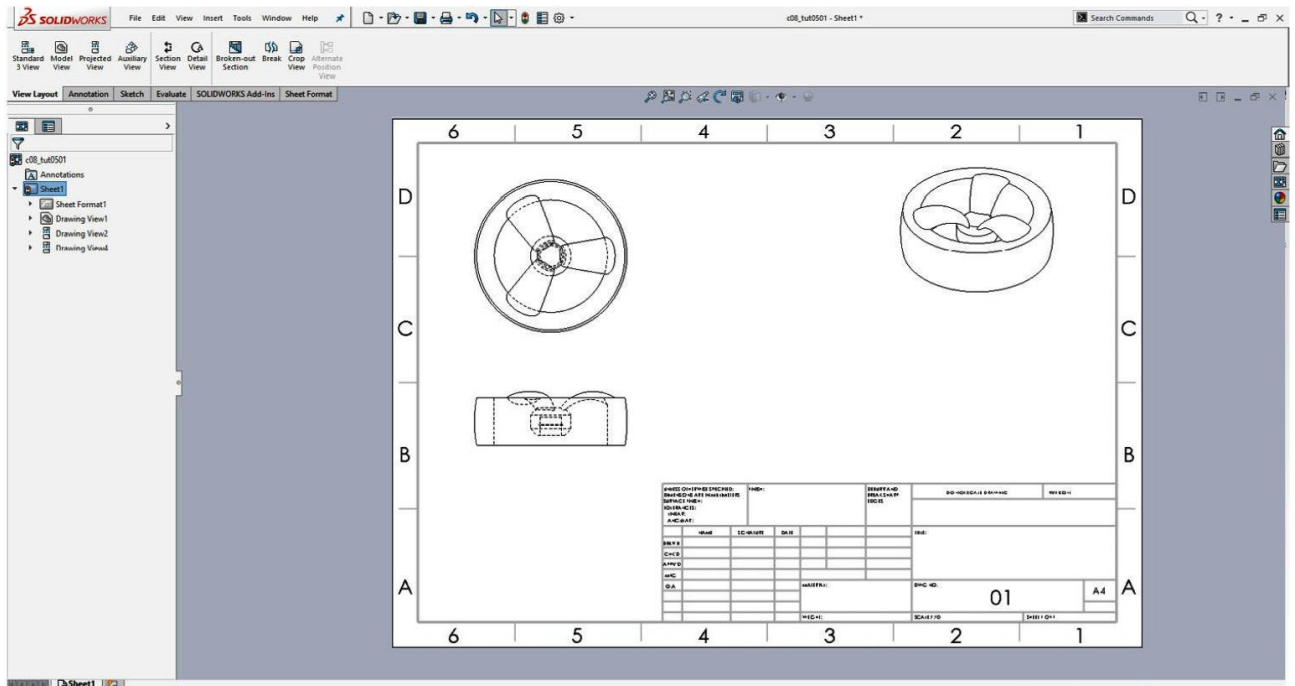


Рисунок 11.4 – Лист креслення після створення видів спереду, зверху та ізометричного виду

6. Аналогічно перемістіть курсор горизонтально вправо, а потім угору; з'явиться попередній перегляд ізометричного виду. Укажіть точку для розташування ізометричного виду.

7. Натисніть кнопку **OK** у вікні **Projected View PropertyManager**, щоб закрити його.

Поточне розташування ізометричного виду моделі може заважати суміщеному перерізу (**Aligned section view**), який потрібно буде додати пізніше. Тому слід перемістити ізометричний вид у верхній правий кут аркуша креслення.

8. Наведіть курсор на ізометричний вид; його обрамлення відобразиться помаранчевим кольором.

9. Натисніть ліву кнопку миші, щоб виділити вид; межа цього виду буде виділена іншим кольором.

10. Наведіть курсор на одну з ліній межі виду; курсор зміниться на значок переміщення.

11. Натисніть і утримуйте ліву кнопку миші, а потім перетягніть вид у верхній правий кут аркуша креслення. Після створення й переміщення ізометричного виду аркуш виглядатиме, як показано на рис. 11.4.

### ***Примітка***

*На рис. 11.4 стиль відображення видів спереду та зверху – **Hidden Lines Visible** (Видимі приховані лінії), а ізометричного виду – **Hidden Lines Removed** (Приховані лінії видалено). Щоб змінити стиль відображення виду, виберіть його; відкриється вікно **Drawing View PropertyManager** (Диспетчер властивостей виду креслення). Далі оберіть потрібний стиль відображення в секції **Display Style** (Стиль відображення) цього вікна.*

### ***Порада***

*Використовуючи панель **View (Heads-Up) toolbar** (Панель інструментів перегляду), можна вмикати або вимикати відображення початків координат у видах креслення.*

### **Створення суміщеного розрізу**

У цьому завданні розглядається створення суміщеного розрізу за допомогою інструмента **Section View** (Вид розрізу).

1. Виберіть інструмент **Section View** у **View Layout CommandManager** (Командний диспетчер компоновання видів); відкриється **Section View Assist PropertyManager** (Менеджер властивостей допоміжного інструмента розрізу) (див. рис. 11.5).

2. У розділі **Cutting Line** (Лінія розрізу) цього менеджера властивостей виберіть кнопку **Aligned**, щоб створити суміщений розріз; суміщена лінія розрізу

буде прив'язана до курсора. З'явиться запит на вказівку трьох точок для визначення суміщеної лінії розрізу.

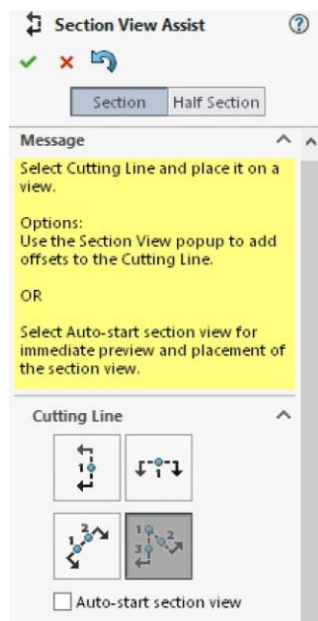


Рисунок 11.5 – Менеджер властивостей допоміжного інструмента розрізу

3. Клацніть у центрі виду зверху, щоб зазначити першу точку. З'явиться запит на вказівку другої точки.

4. Перемістіть курсор вертикально вгору і клацніть, щоб зазначити другу точку, коли з'явиться символ вертикального вирівнювання. Як тільки буде вказано другу точку, створиться перша опорна лінія суміщеної лінії розрізу (рис. 11.6).

5. Клацніть, щоб зазначити другу опорну лінію (рис. 11.6).

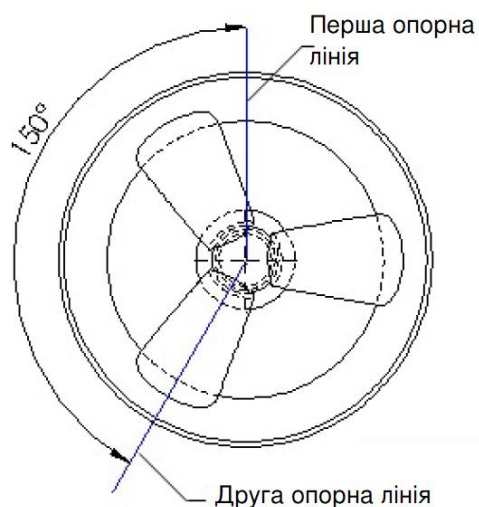


Рисунок 11.6 – Опорні лінії після встановлення значення кута у 150 градусів

6. Виберіть кнопку **Edit sketch** (Редагувати ескіз) у **Section View Assist PropertyManager**; активується режим ескізу.

7. Виберіть інструмент **Smart Dimension** (Швидкий розмір) у **Sketch CommandManager** і задайте кут між двома опорними лініями рівним  $150^\circ$ . Рисунок 11.6 показує опорні лінії після встановлення кута у  $150^\circ$  градусів.

8. Натисніть кнопку **Exit Sketch** (Вийти з ескізу), розташовану у верхньому правому куті області креслення; попередній перегляд суміщеного розрізу прив'язується до курсора.

9. Перемістіть курсор праворуч від верхнього вигляду та розмістіть суміщений розріз (рис. 11.7).

10. Клацніть будь-де на аркуші, щоб зняти виділення з виду та вийти з менеджера властивостей. Аркуш після створення суміщеного розрізу показано на рис. 11.7.

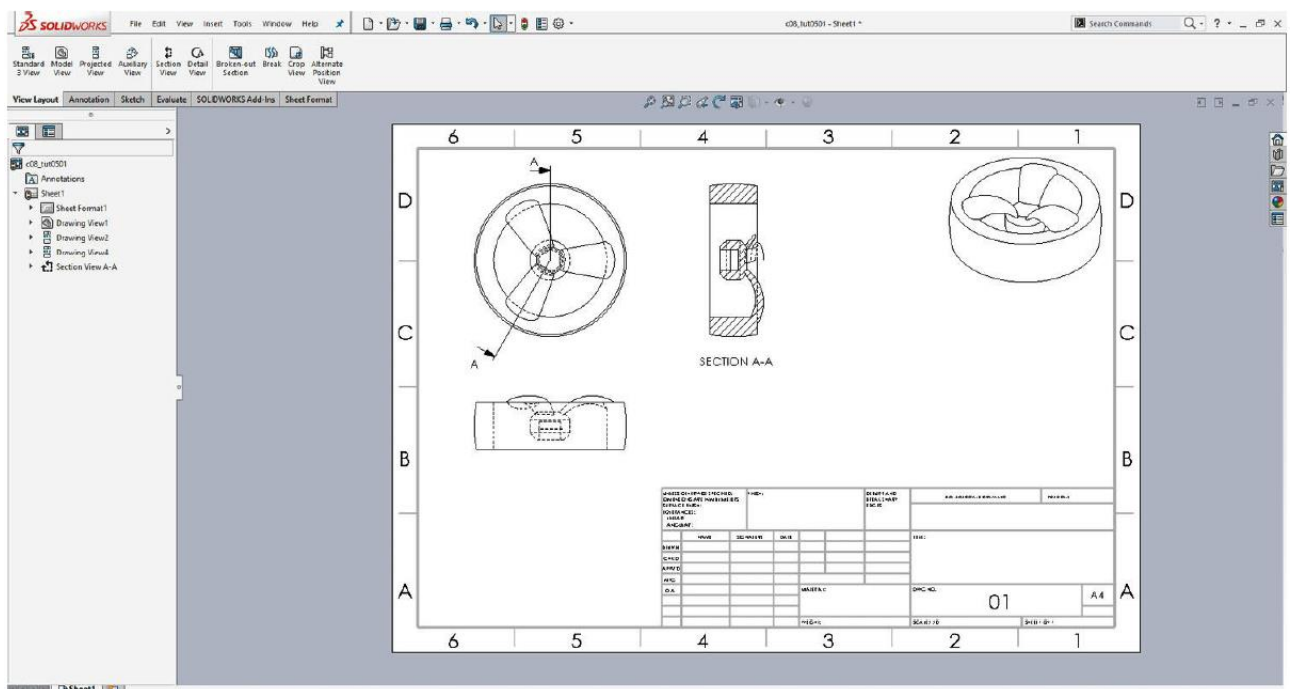


Рисунок 11.7 – Лист креслення після створення суміщеного розрізу

### **Примітка**

*Під час створення виду розрізу для збірки чи компонента до перерізованих частин елементів або компонентів застосовується штрихування. Шаблон*

штрихування залежить від матеріалу, призначеного компонентам у файлі деталі.

### Змінення штрихування у суміщеному розрізі

Суміщений розріз має занадто великий проміжок між лініями штрихування. Для його зміни виконайте наступне:

1. Виділіть штрихування на одному з перерізів у суміщеному розрізі; відкриється **Area Hatch/Fill PropertyManager** (Менеджер властивостей штрихування/заливки області).

Інструмент **Area Hatch/Fill** використовується для редагування стандартного штрихування.

2. Зніміть прапорець **Material crosshatch** (Штрихування за матеріалом); стануть доступними опції **Hatch Pattern** (Шаблон штрихування), **Hatch Pattern Scale** (Масштаб шаблону штрихування) та **Hatch Pattern Angle** (Кут шаблону штрихування).

Прапорець **Material crosshatch** обирається для застосування штрихування на основі матеріалу, призначеного моделі. Після зняття цього прапорця можна змінити тип штрихування.

3. Переконайтеся, що обрано перемикач **Hatch** (Штрихування) у розділі **Properties** менеджера властивостей.

Перемикач **Hatch** обирається для застосування стандартних шаблонів штрихування до виду розрізу. Після вибору цієї кнопки в **Area Hatch/Fill PropertyManager** стають доступними деякі опції для налаштування параметрів штрихування.

4. У поле введення **Hatch Pattern Scale** введіть значення 1.5 і натисніть **ОК**, щоб вийти з менеджера властивостей; проміжок між лініями штрихування буде змінено відповідно.

Поле вводу **Hatch Pattern Scale** використовується для визначення коефіцієнта масштабу стандартного шаблону штрихування, вибраного з випадаючого списку **Hatch Pattern**. Під час зміни масштабу в цьому полі

попередній перегляд у зоні **Preview** (Попередній перегляд) динамічно оновлюється.

### Створення детального виду

Далі необхідно створити детальний вид центрального кругового елемента моделі. Перед цим потрібно активувати вигляд, з якого буде створено детальний вид.

1. Активуйте суміщений розріз, клацнувши на ньому. Виберіть кнопку **Detail View** (Детальний вигляд) у **View Layout CommandManager**; відкриється **Detail View PropertyManager** (Менеджер властивостей детального вигляду), а також відобразиться запит на створення кола. Курсор зміниться на круговий.

2. Нарисуйте невелике коло в області центральної кругової деталі моделі у суміщеному розрізі (рис. 11.8). Під час створення кола попередній перегляд детального виду прив'язується до курсора.

3. Розмістіть детальний вигляд праворуч на аркуші над штампом (рис. 11.8).

4. У розділі **Scale** (Масштаб) **Detail View PropertyManager** виберіть перемикач **Use custom scale** (Використовувати власний масштаб), а потім задайте 1:5 у списку нижче.

5. Переконайтеся, що встановлено прапорець **Pin Position** (Закріпити положення) у розділі **Detail View**. Натисніть **OK** для виходу з менеджера властивостей.

Прапорець **Pin Position** використовується для закріплення положення детального вигляду. Якщо вибрати прапорець **Full outline** (Повний контур), детальний вигляд відобразиться з повним контуром замкненого профілю.

Можливо, доведеться перемістити детальний вигляд або його позначення, щоб уникнути перекриття зі штампом. На рисунку 11.8 приведено остаточний аркуш після створення детального вигляду.



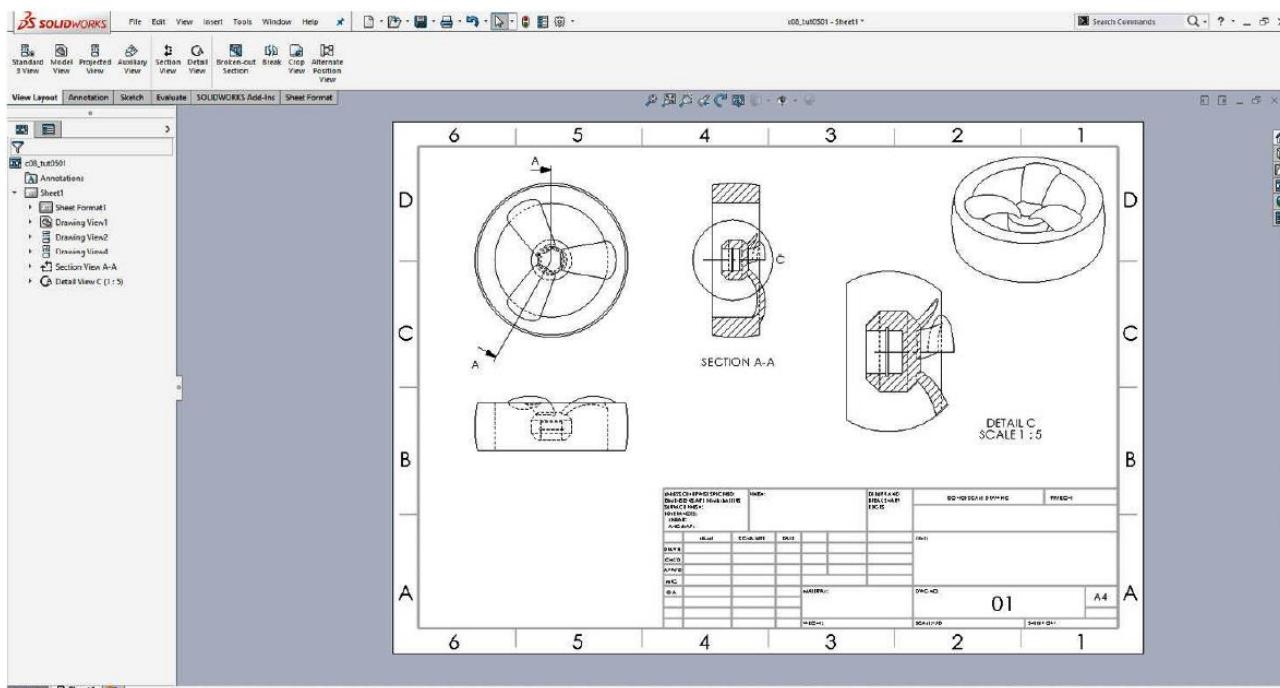


Рисунок 11.8 – Детальний вигляд, створений на основі суміщеного розрізу

### Збереження креслення

1. Натисніть кнопку **Save** у **Menu Bar** і збережіть файл креслення у зручній папці.
2. Виберіть **File > Close** у меню SOLIDWORKS, щоб закрити документ. Також закрийте файл деталі з Завдання 5 Розділу 6.

## 11.4 Створення креслень збірок та додавання специфікацій

### Завдання 2

У цьому завданні розглянуто створення видів креслення для збірки Tool Vise, створеної у Завданні 1 Розділу 8. Будуть створені вид зверху, фронтальний розріз та ізометричний вид у рознесеному стані. Також буде створено специфікацію збірки та додано виноски до ізометричного виду у рознесеному стані.

### Необхідні кроки для виконання завдання:

- а) Скопіювати папку збірки Tool Vise з Розділу 8 до папки поточного розділу.

- б) Створити рознесений вигляд збірки Tool Vise (див. рис. 11.9).
- в) Створити новий документ креслення на основі документа збірки, використовуючи формат аркуша A4 Landscape, і згенерувати вид зверху (рис. 11.10).
- г) Створити розріз за допомогою інструмента **Section View** (рис. 11.11).
- д) Створити ізометричний вид і змінити його стан на рознесений (рис. 11.12).
- е) Встановити прив'язку (якір) на аркуші креслення для специфікації.
- ж) Згенерувати специфікацію (рис. 11.14).
- з) Додати виноски до ізометричного виду (рис. 11.15).
- и) Зберегти та закрити файли креслення та збірки.

### Створення рознесеного вигляду збірки

Перед створенням видів креслення збірки необхідно створити рознесений стан збірки у режимі **Assembly**.

1. Відкрийте збірку Tool Vise у SOLIDWORKS і створіть рознесений стан, а також лінії рознесення (**Explode lines**) за допомогою інструментів **Exploded View** та **Explode Line Sketch** відповідно, як показано на рисунку 11.9.

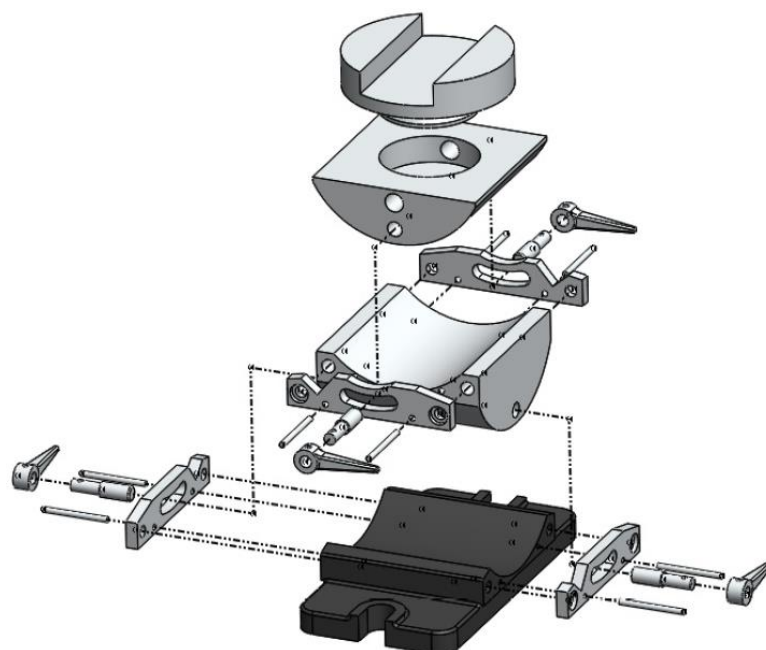


Рисунок 11.9 – Рознесений вигляд збірки з лініями рознесення

### ***Примітка***

*На рисунку 11.9 представлено повернутий вигляд збірки Tool Vise для більш чіткого візуального сприйняття.*

### ***Рекомендація***

*Завжди після створення рознесеного стану збірки повертайте її у згорнутий стан (**Collapsed state**). Якщо збірка буде збережена у рознесеному стані, при створенні видів креслення види будуть автоматично згенеровані у рознесеному стані.*

2. Натисніть правою кнопкою миші на збірку Tool Vise у **FeatureManager Design Tree**, щоб викликати контекстне меню. Виберіть **Collapse** з контекстного меню для згортання збірки.

3. Збережіть збірку.

### **Створення нового документа креслення на основі документа збірки**

Як зазначалося раніше, створення документа креслення також можна виконати безпосередньо з документа збірки.

1. Виберіть **New > Make Drawing from Part/Assembly** у **Menu Bar**; відкриється діалогове вікно **Sheet Format/Size**.

2. Виберіть формат аркуша A4 (ANSI) Landscape зі списку у цьому діалоговому вікні та натисніть **OK**; новий документ креслення буде створений зі стандартним аркушем A4, і на правій стороні робочої області автоматично відобразиться панель завдань **View Palette**.

За замовчуванням збірка Tool Vise вибрана для створення видів креслення.

3. Виберіть **Sheet1** у **FeatureManager Design Tree** та натисніть правою кнопкою миші, щоб викликати контекстне меню.

4. Виберіть опцію **Properties** у контекстному меню; відобразиться діалогове вікно **Sheet Properties**.

5. Виберіть перемикач **Third angle** у секції **Type of projection** та натисніть **ОК**, щоб встановити тип проекції на третій кут.

### Створення виду зверху

Після створення нового документа креслення зі стандартним розміром аркуша А4 потрібно згенерувати вид зверху збірки за допомогою інструмента **Model View** (Вигляд моделі).

1. Виберіть кнопку **Model View** із вкладки **View Layout CommandManager**; відкриється **Model View PropertyManager**. Оскільки збірка Tool Vise вже відкрита в документі збірки поточної сесії SOLIDWORKS, її назва відображається в розділі **Part/Assembly to Insert** (Деталь/Збірка для вставки) у **PropertyManager**.

2. Двічі клацніть на Tool Vise у розділі **Part/Assembly to Insert** у **PropertyManager**; до курсора прикріплюється прямокутна рамка.

3. Виберіть кнопку **Top** у розділі **Standard views** вкладки **Orientation** (Орієнтація) у **Model View PropertyManager**.

### Порада

*Ви можете змінити орієнтацію вигляду моделі навіть після його розміщення. Для цього двічі клацніть на потрібному вигляді; відкриється **Model View PropertyManager**. Виберіть потрібний вигляд із вкладки **Orientation**; орієнтація вигляду буде автоматично змінена.*

4. Виберіть перемикач **Use custom scale** (Використовувати користувацький масштаб) у розділі **Scale** (Масштаб) у **PropertyManager**.

5. У спадному меню, доступному нижче перемикача **Use custom scale**, виберіть опцію **User Defined Route** (Користувацький маршрут). Зверніть увагу, що після вибору цієї опції вмикається поле введення **Scale**.

6. У полі **Scale** введіть значення коефіцієнта масштабу 1:3 і виберіть прапорець **Preview** у розділі **Orientation**; у прямокутнику, прикріпленому до курсора, відобразиться попередній вигляд виду зверху збірки.

### Примітка

Вигляди, створені в режимі креслення *SOLIDWORKS*, автоматично масштабуються залежно від розміру аркуша. Однак можна змінити коефіцієнт масштабу, як описано в наведених вище кроках, якщо це необхідно.

Після створення виду зверху потрібно згенерувати фронтальний розріз, вид справа та ізометричний вигляд збірки замість проекційних виглядів. Тому необхідно зняти прапорець **Auto-start projected view** (Автоматичний запуск проекційного вигляду).

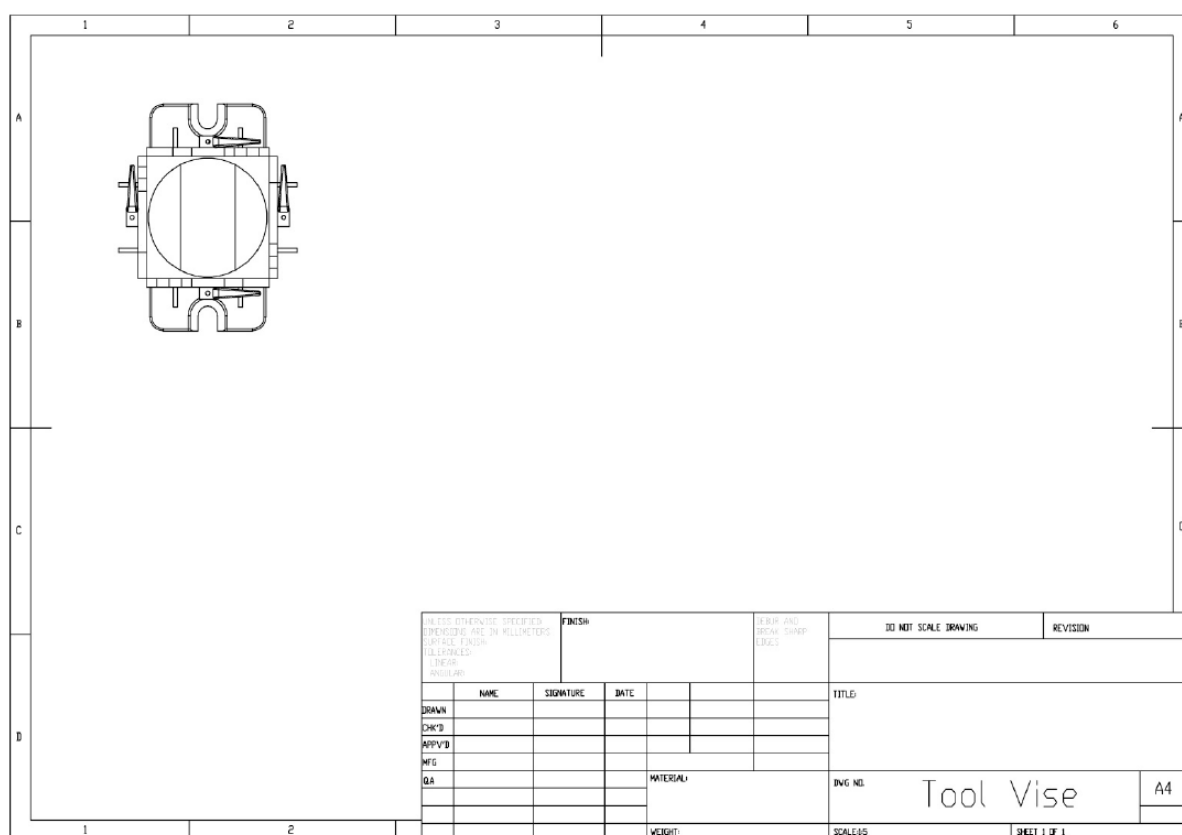


Рисунок 11.10 – Вид зверху, створений за допомогою інструмента Model View

7. Зніміть прапорець **Auto-start projected view** у розділі **Options** у PropertyManager.

Якщо прапорець **Auto-start projected view** вибраний, інструмент **Projected View** автоматично активується для створення проекційного вигляду одразу після розміщення вигляду моделі.

8. Виберіть кнопку **Hidden Lines Removed** у розділі **Display Style**.

9. Розмістіть вигляд у верхньому лівому куті аркуша креслення, як показано на рисунку 11.10. Клацніть будь-де на аркуші, щоб вийти з PropertyManager.

### Створення фронтального розрізу

Далі потрібно згенерувати фронтальний розріз, отриманий із виду зверху.

1. Виберіть інструмент **Section View** із вкладки **View Layout CommandManager**; відкриється **Section View Assist PropertyManager**.

2. Виберіть кнопку **Horizontal** (Горизонтальний) у розділі **Cutting Line** (Лінія розрізу) у PropertyManager; до курсора прикріплюється горизонтальна лінія розрізу.

3. Клацніть у центрі Tool Vise, щоб вказати положення лінії розрізу; відкриється спливаюча панель інструментів **Section View**.

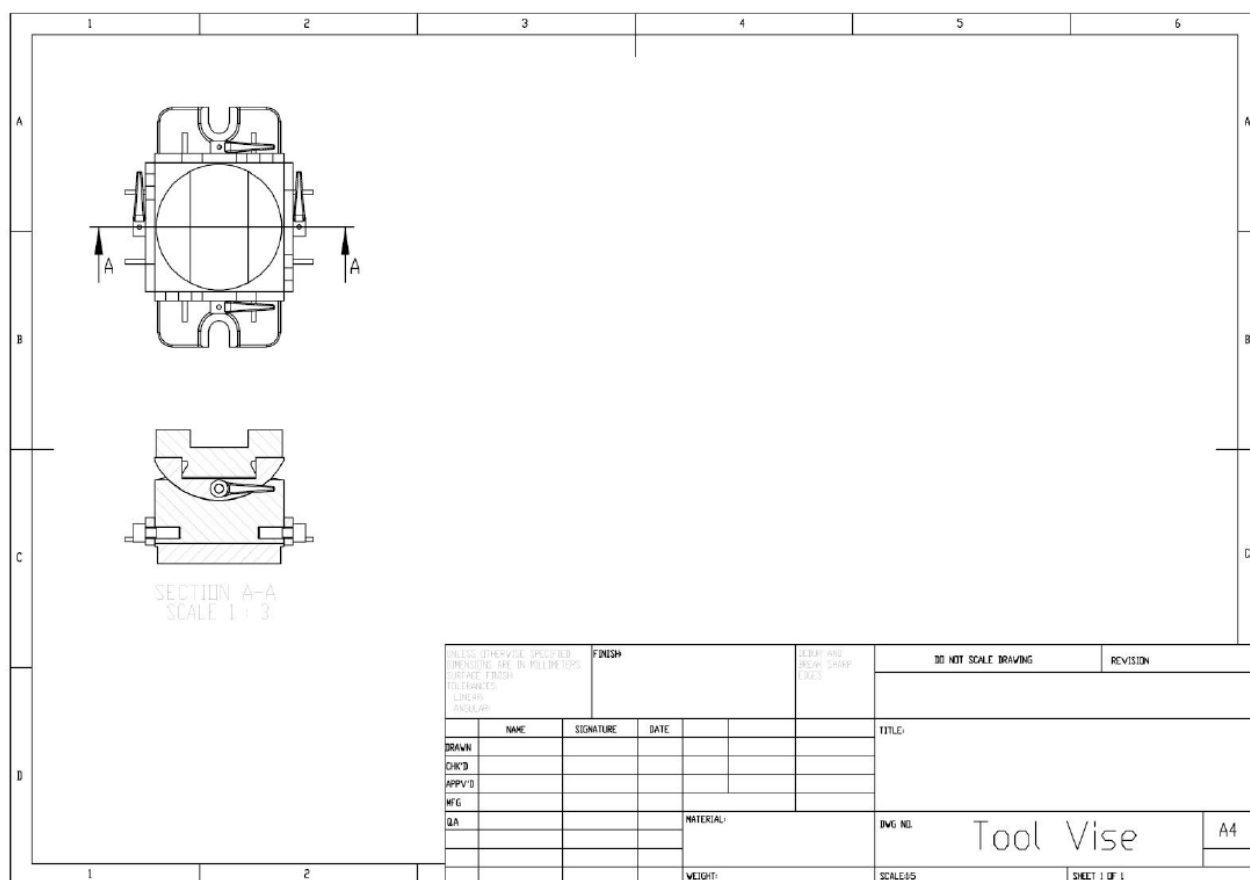


Рисунок 11.11 – Розріз, створений за допомогою інструмента Section View

4. Натисніть кнопку **OK** на спливаючій панелі інструментів, а потім кнопку **OK** у вікні **Section View**, яке відкриється далі; з'явиться запит на вказання положення для фронтального розрізу.

5. Перемістіть курсор униз і клацніть, щоб вказати положення для фронтального розрізу, як показано на рисунку 11.11. Потім клацніть будь-де в області креслення.

### ***Порада***

*Під час розміщення фронтального розрізу вигляд буде суміщений за напрямком стрілок на лінії розрізу. Щоб зняти це вирівнювання, утримуйте клавішу CTRL і перемістіть вигляд у потрібне місце. Потім виберіть точку на аркуші креслення, щоб розмістити вигляд.*

### **Створення ізометричного вигляду збірки у рознесеному стані**

Останній вигляд, який потрібно створити, – це ізометричний вигляд збірки у рознесеному стані.

1. Виберіть кнопку **Model View** із вкладки **View Layout CommandManager**; відкриється **Model View PropertyManager**. Оскільки збірка Tool Vise вже відкрита в документі збірки поточної сесії SOLIDWORKS, її назва відображається в розділі **Part/Assembly to Insert** (Деталь/Збірка для вставки) у PropertyManager.

2. Двічі клацніть на Tool Vise у розділі **Part/Assembly to Insert** у PropertyManager; до курсора прикріплюється прямокутна рамка.

3. Переконайтеся, що вибрано кнопку **Isometric** (Ізометричний) у розділі **Orientation** у PropertyManager.

4. Установіть коефіцієнт масштабу вигляду креслення на 1:3.

5. Виберіть кнопку **Hidden Lines Removed** (Приховані лінії видалені) у розділі **Display Style**. Потім клацніть лівою кнопкою миші, щоб розмістити вигляд, як продемонстровано на рисунку 11.12.

6. Клацніть правою кнопкою миші на вигляді, щоб викликати контекстне меню. Виберіть опцію **Properties** у контекстному меню; відкриється діалогове вікно **Drawing View Properties**.

7. У вкладці **View Properties** діалогового вікна **Drawing View Properties** установіть прапорець **Show in exploded state** (Показати у рознесеному стані) і натисніть кнопку **OK**.

8. Перемістіть вигляди, щоб розмістити їх на аркуші креслення, як показано на рисунку 11.12.

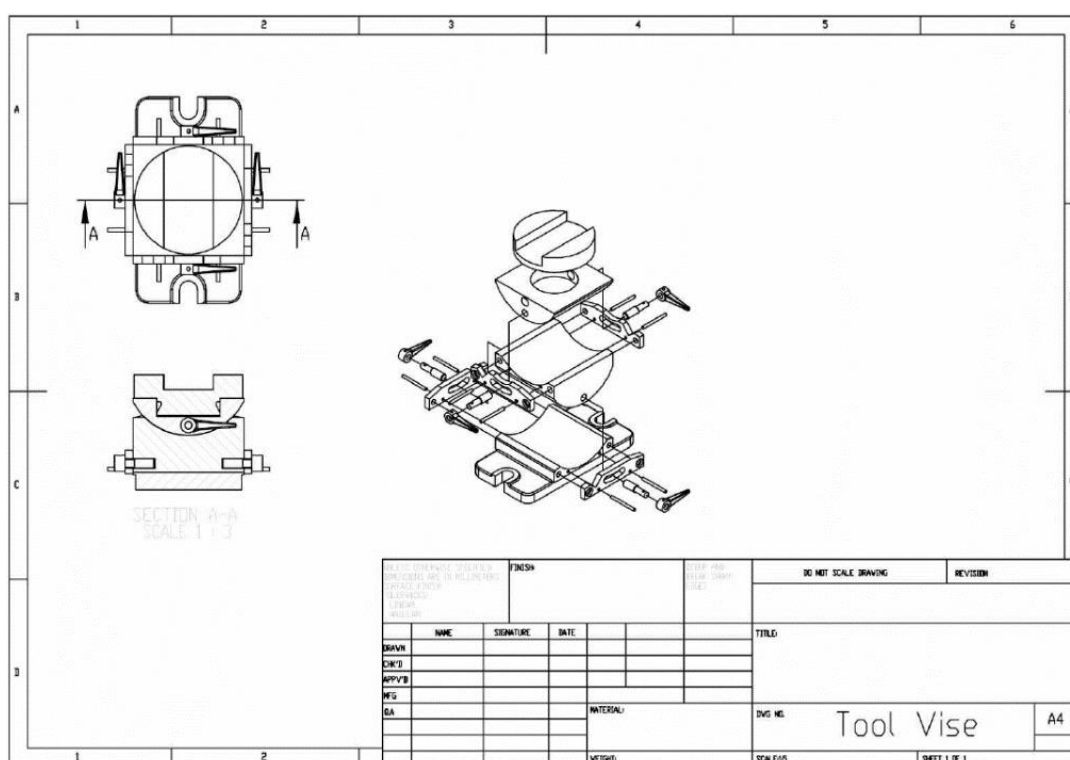


Рисунок 11.12 – Креслення після створення ізометричного вигляду у рознесеному стані

### Установка якоря для специфікації матеріалів

Перед створенням специфікації матеріалів (**Bill of Materials, BOM**) необхідно встановити її якір. Якір – це точка на аркуші креслення, до якої прив'язаний один із кутів таблиці BOM. За замовчуванням якір визначений у верхньому лівому куті аркуша креслення. Однак у цьому прикладі потрібно розмістити BOM у верхньому правому куті аркуша. Тому перед створенням BOM необхідно встановити якір.



1. Розгорніть **Sheet1** у **FeatureManager Design Tree**, а потім розгорніть **Sheet Format1**.

2. Виберіть опцію **Bill of Materials Anchor1** (Якір специфікації матеріалів 1) у розгорнутому вузлі **Sheet Format1**, після чого натисніть правою кнопкою миші, щоб викликати контекстне меню. Далі виберіть опцію **Set Anchor** (Встановити якір); види креслення зникнуть з аркуша.

3. Вкажіть точку якоря у внутрішньому верхньому правому куті аркуша креслення; у вибраному місці буде встановлено точку. Виберіть кнопку **Top Right** (Верхній правий) у розділі **Table Position** (Положення таблиці) в **Bill of Materials PropertyManager** (Менеджер властивостей специфікації матеріалів).

Після вказання точки якоря види креслення автоматично з'являться на аркуші.

### Створення специфікації матеріалів

Далі необхідно створити BOM. Специфікація матеріалів – це таблиця, яка відображає список компонентів, використаних у збірці. Ця таблиця також може містити інформацію про кількість компонентів, їх назви, кількість і будь-які інші дані, необхідні для складання. Зверніть увагу, що порядок частин у BOM залежить від послідовності їх додавання до документа збірки. BOM, розміщена в документі креслення, є параметричною. Тому, якщо ви додаєте або видаляєте частину зі збірки в документі збірки, зміни автоматично відобразяться у відповідному BOM у документі креслення. Однак перед створенням BOM потрібно налаштувати параметри тексту.

1. Відкрийте діалогове вікно **Document Properties - Drafting Standard** (Властивості документа - Стандарт креслення). Для цього виберіть кнопку **Options** у **Menu Bar**; відкриється діалогове вікно **System Options - General** (Системні параметри - Загальні). Далі виберіть вкладку **Document Properties**.

2. Виберіть **Annotations > Notes** (Анотації > Примітки) у лівій частині діалогового вікна. Потім натисніть кнопку **Font** (Шрифт) у розділі **Text** діалогового вікна; відкриється діалогове вікно **Choose Font** (Вибір шрифту).

3. Виберіть опцію **Points** в розділі **Height** (Висота) і встановіть розмір шрифту 9 у списку. Потім натисніть кнопку **OK** у діалоговому вікні **Choose Font**.

4. Аналогічно змініть висоту тексту для виносок (**Balloons**) на 12 пунктів.

5. Виберіть ізометричний вид креслення на аркуші, а потім натисніть вкладку **Annotation** в **CommandManager**, щоб викликати **Annotation CommandManager** (Менеджер команд анотацій).

6. Виберіть інструмент **Bill of Materials** (Специфікація матеріалів) у меню **Tables flyout** (Випадаюче меню таблиць) в **Annotation CommandManager** (Менеджер команд анотацій) (див. рис. 11.13); відкриється **Bill of Materials PropertyManager** (Менеджер властивостей специфікації матеріалів).

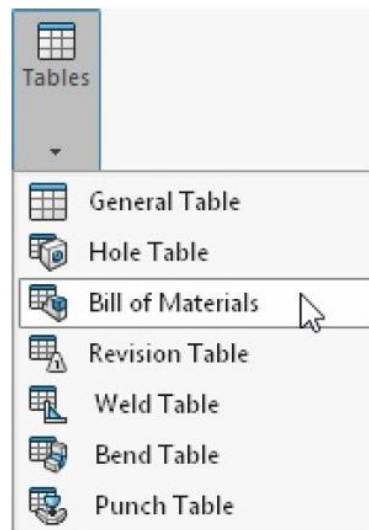


Рисунок 11.13 – Інструмент Bill of Materials у меню Tables flyout

7. Переконайтеся, що прапорець **Attach to anchor point** (Прикріпити до точки якоря) встановлений у розділі **Table Position** (Положення таблиці) в **PropertyManager**.

8. Прийміть усі інші параметри за замовчуванням у **Bill of Materials PropertyManager**, а потім натисніть кнопку **OK**; БОМ з'явиться в області креслення у позиції за замовчуванням (див. рис. 11.14).

Розташування БОМ у вашому випадку може відрізнятися від зображеного на рисунку 11.14. Як зазначалося раніше, це залежить від положення точки

якоря. Ви можете змінити точку якоря таблиці BOM за потреби. Для цього розгорніть вузол **Sheet format**, натиснувши значок розгортання зліва від нього. Потім клацніть правою кнопкою миші на опцію **Bill of Material Ancho** у розгорнутому вузлі **Sheet Format**; відкриється контекстне меню. Тепер виберіть опцію **Set Anchor** (Встановити якір); з'явиться запит на вказання місця розташування точки якоря. Натисніть потрібне місце на аркуші креслення; точка якоря буде встановлена.

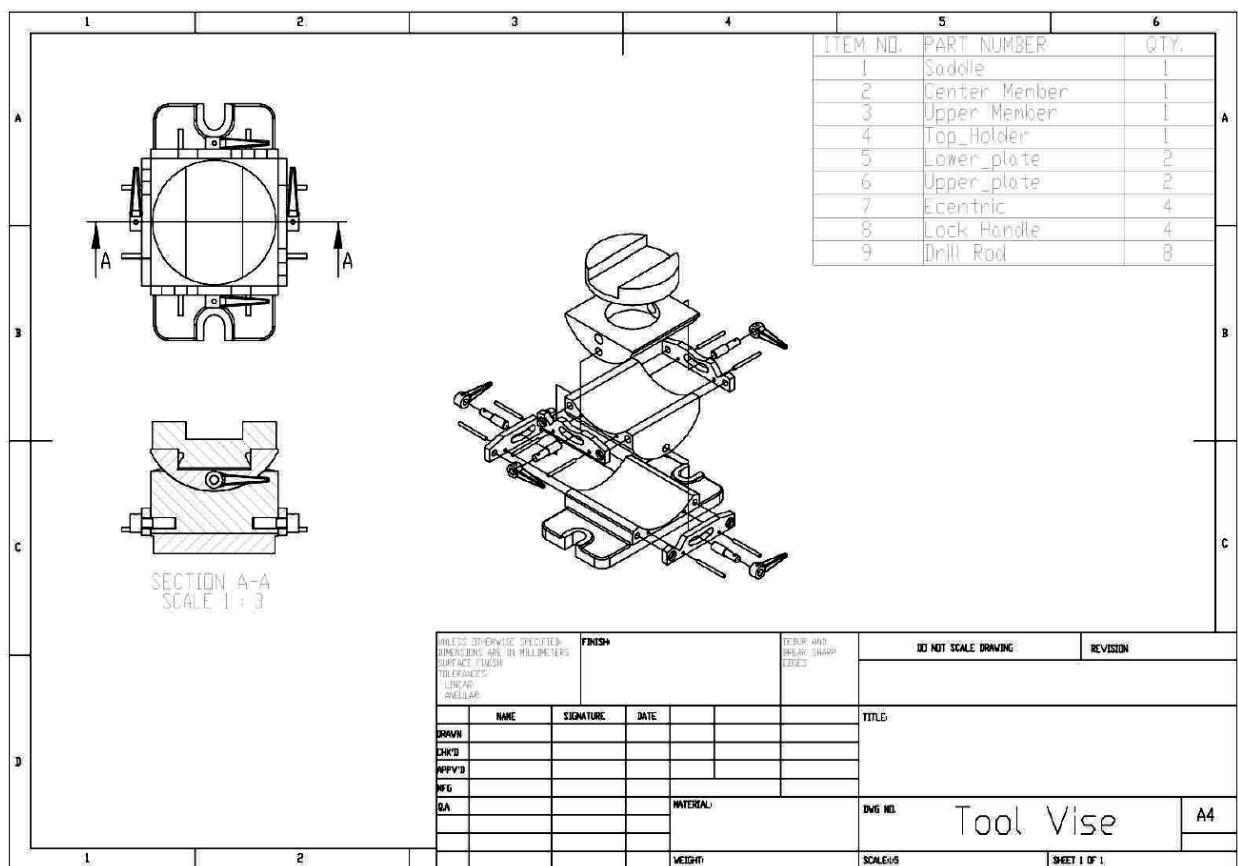


Рисунок 11.14 – Аркуш креслення після створення BOM і видалення стовпця Description

Ви помітите, що у BOM також відображається стовпець **Description**. Оскільки цей стовпець не потрібен, його необхідно видалити.

9. Наведіть курсор на заголовок стовпця **Description** і натисніть правою кнопкою миші; відкриється контекстне меню. Виберіть **Delete > Column** (Видалити > Стовпець) у контекстному меню; стовпець буде видалено.

## Додавання виносок до компонентів

Після створення специфікації, необхідно додати виноски до компонентів.

1. Виділіть ізометричний вид креслення та виберіть кнопку **AutoBalloon** (Автовиноска) у **Annotation CommandManager** (Панель управління примітками); виноски будуть автоматично додані до всіх компонентів в ізометричному вигляді, і відкриється **Auto Balloon PropertyManager** (Диспетчер властивостей автовиноски).

Інструмент **AutoBalloon** використовується для автоматичного додавання виносок до вибраного виду креслення.

## Порада

*У SOLIDWORKS також можна додати виноски вручну за допомогою інструмента **Balloon**. Для цього виберіть інструмент **Balloon** у **Annotation CommandManager**; відкриється **Balloon PropertyManager**. У розділі **Balloon Settings** (Параметри виносок) цього диспетчера задайте параметри виносок. Далі виберіть компоненти у вигляді збірки на кресленні. Якщо вибрати поверхню компонента, виноска матиме заповнене коло у точці прикріплення. Якщо вибрати край компонента, виноска матиме закриту заповнену стрілку.*

2. Переконайтеся, що прапорець **Ignore multiple instances** (Ігнорувати повтори) у розділі **Balloon Layout PropertyManager** (Розташування виносок) встановлений. Це дозволить уникнути додавання виносок до повторюваних екземплярів одного і того ж компонента.

3. Виберіть кнопку **Layout Balloons to Circular** (Розташувати виноски по колу) у розділі **Balloon Layout**; попередній перегляд розташування виносок зміниться на круговий.

Якщо виноски перекривають вигляд креслення, BOM або штамп, пересуньте їх, щоб уникнути перетинів.

4. Наведіть курсор на виноску та натисніть ліву кнопку миші. Перетягніть курсор до ізометричного вигляду так, щоб виноска не перекривала вигляд

креслення, BOM чи штамп, а потім відпустіть кнопку миші. За необхідності окремі виноски можна перемістити пізніше.

5. У розділі **Balloon Settings** виберіть опцію **2 Character** (2 символи) із розкривного списку **Size** (Розмір). Натисніть **OK**, щоб закрити PropertyManager.

На Рисунку 11.15 показано остаточний вигляд креслення після додавання виносок.

### Збереження креслення

1. Натисніть кнопку Save у Menu Bar і збережіть документ креслення у зручну папку.
2. Закрийте файли креслення та збірки.

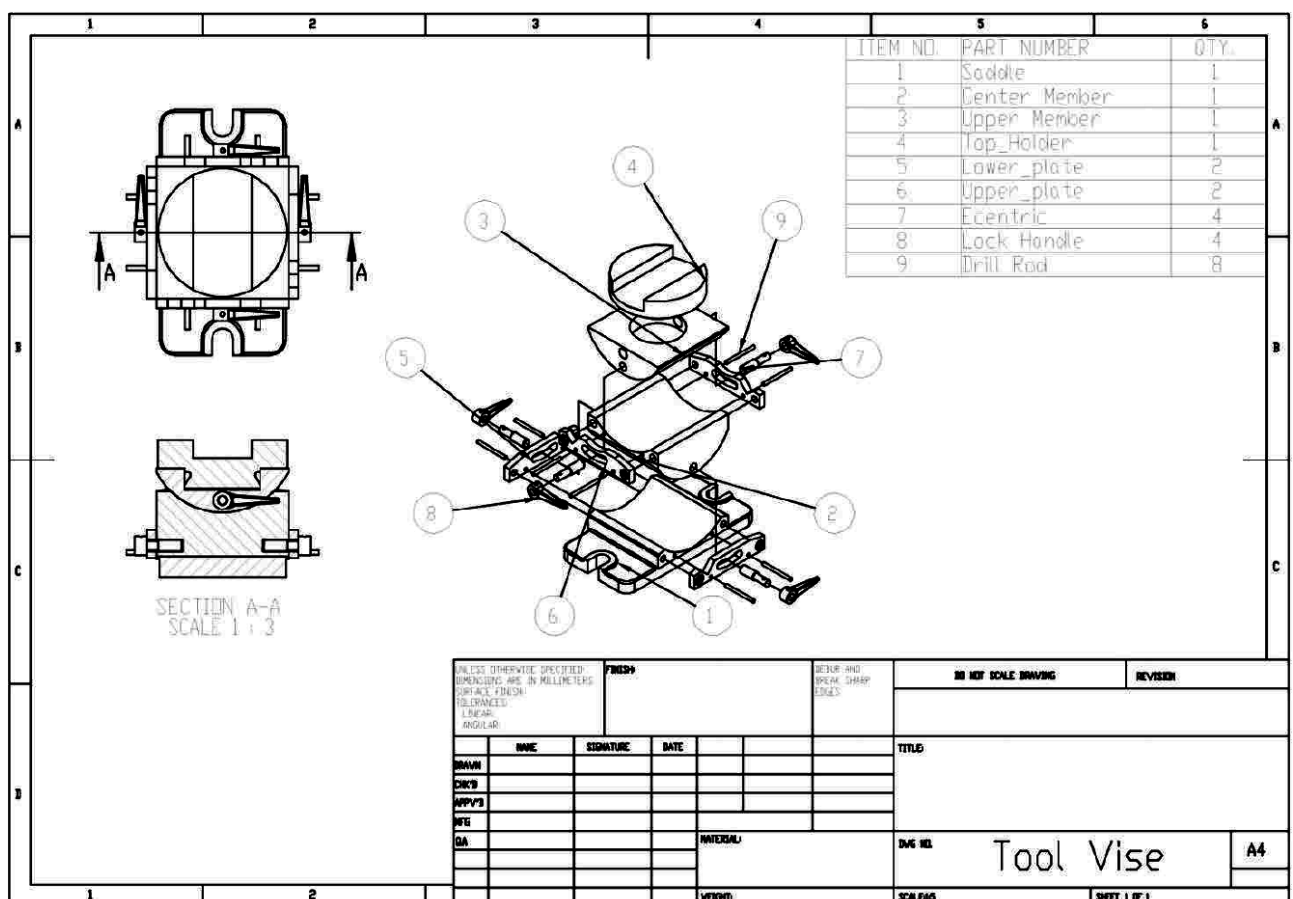


Рисунок 11.15 – Остаточний вигляд креслення після додавання виносок

### Завдання 3

У цьому завданні розглядається методика додавання розмірів та анотацій до створеного раніше креслення, а також опис зміни відображення ізометричного виду на режим із затіненням.

**Для виконання цього практичного заняття необхідно виконати наступні кроки:**

а) Відкрити документ креслення, створений у Занятті 1 цього розділу, та зберегти його під іншим ім'ям.

б) Налаштувати параметри шрифту та додати розміри за допомогою інструмента **Model Items** (Елементи моделі).

в) Впорядкувати розміри та видалити непотрібні (рисунки 11.18 і 11.19).

г) Додати символ бази та геометричну позначку допуску до видів креслення (рисунки 11.20 і 11.21).

д) Змінити стан відображення моделі у видах креслення (рис. 11.22).

#### **Відкриття документа креслення**

Необхідно відкрити документ креслення, створений у Занятті 1 цього розділу, у вікні SOLIDWORKS, і зберегти його під іншим ім'ям. На рисунку 11.16 показано лист креслення, до якого потрібно додати розміри та анотації.

#### **Налаштування параметрів документа**

Перш ніж додавати розміри моделі, необхідно налаштувати параметри документа. Це дозволить коректно відображати розміри та інші анотації на поточному аркуші.

1. Викличте діалогове вікно **Document Properties - Drafting Standard**. Виберіть **Annotations > Notes** у лівій частині.

2. Натисніть кнопку **Font** у розділі **Text**; відкриється діалогове вікно **Choose Font**.

3. Виберіть перемикач **Points** у розділі **Height** та встановіть значення розміру шрифту 9 у списку.

4. Натисніть кнопку **OK** у діалоговому вікні **Choose Font**.
5. Виберіть опцію **Dimensions** (Розміри) у лівій частині; у правій частині з'являться відповідні параметри.
6. У розділі **Arrows** (Стрілки) задайте значення висоти, ширини та довжини стрілок як 1, 3 і 6 відповідно.
7. Виберіть **Views > Section** у лівій частині діалогового вікна; у правій частині задайте значення висоти, ширини та довжини стрілок перерізу як 2, 4 і 8 відповідно.
8. Натисніть кнопку **OK** у діалоговому вікні **Document Properties**.

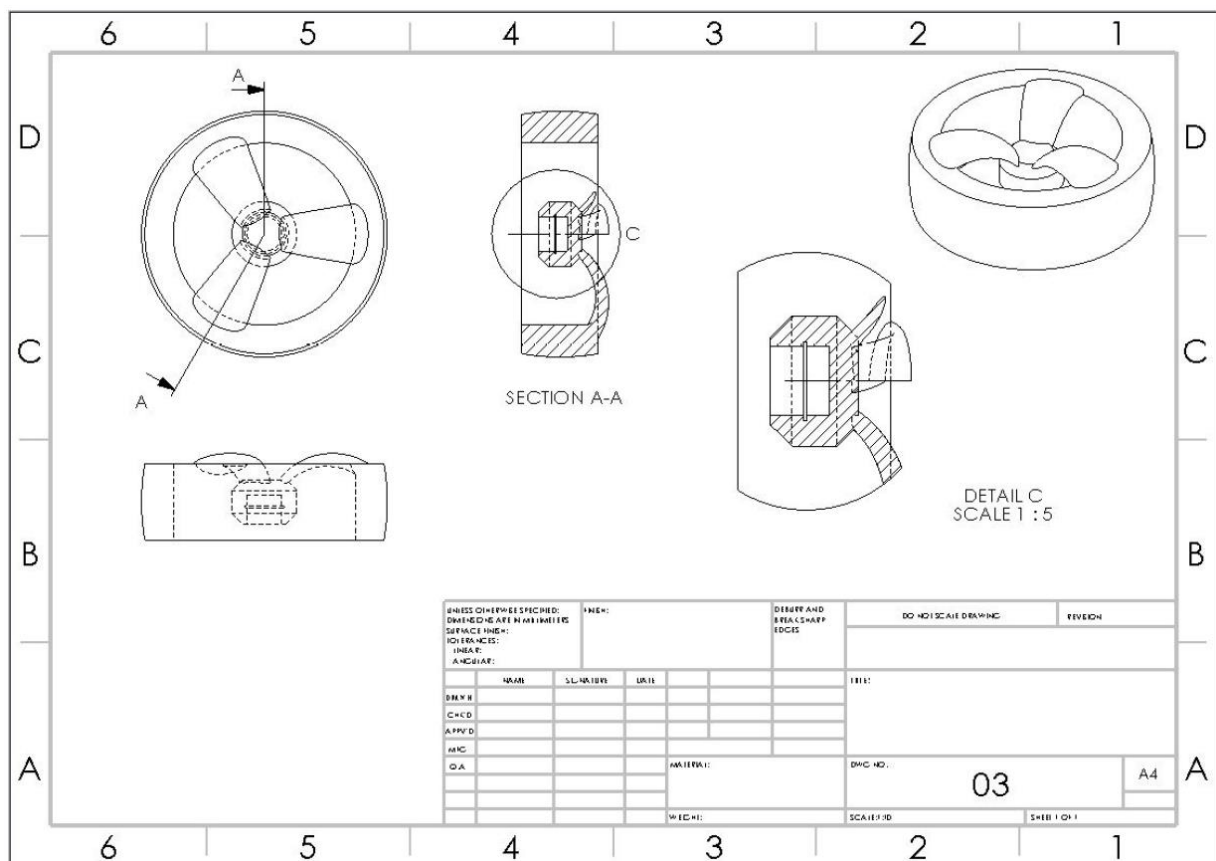


Рисунок 11.16 – Лист креслення для додавання розмірів та анотацій

### Додавання розмірів

Далі потрібно додати розміри за допомогою інструмента **Model Items** (Елементи моделі).

1. Виберіть верхній вид креслення. Потім натисніть кнопку **Model Items** на панелі інструментів **Annotation CommandManager**; відкриється вікно **Model**

**Items PropertyManager**, і назва вибраного виду відобразиться у розділі **Source/Destination** (Джерело/Призначення).

Інструмент **Model Items** використовується для додавання анотацій, створених під час моделювання в режимі **Part**.

### *Порада*

*Якщо не вибрати вид для додавання розмірів за допомогою інструмента **Model Items**, усі розміри будуть відображені у всіх видах. Іноді розміри можуть перекривати один одного. Тому спочатку потрібно вибрати вид, у якому необхідно додати розміри, а потім викликати інструмент **Model Items**.*

2. Виберіть опцію **Entire model** (Уся модель) у списку **Source** (Джерело).

Опція **Entire model** використовується для імпорту анотацій усієї моделі до вибраного виду креслення. Опція **Selected feature** (Вибраний елемент) у списку **Source** використовується для імпорту анотацій лише з вибраного елемента або елементів.

3. Натисніть кнопку **OK** у вікні **Model Items PropertyManager**; розміри всієї моделі, які можна відобразити у вибраному виді, будуть додані.

Зверніть увагу, що додані розміри будуть розташовані довільно на аркуші креслення. Тому потрібно впорядкувати їх, перемістивши у потрібні місця.

4. Виділіть усі розміри, обвівши їх рамкою; поруч із курсором з'явиться кнопка **Dimension Palette** (Палітра розмірів).

5. Наведіть курсор на цю кнопку; відкриється вікно **Dimension Palette** (див. рис. 10.17).

6. Натисніть кнопку **Auto Arrange Dimensions** (Автоматичне вирівнювання розмірів) у цьому вікні; розміри будуть розташовані на однаковій відстані. Потім клацніть на аркуші креслення, щоб закрити вікно.

7. Виберіть розміри один за одним і перетягніть їх у потрібне місце (див. рис. 11.18). Можна змінити напрямок стрілок, натиснувши на контрольні точки, що відображаються на них. Значення діаметрів 85, 97, 108 і 160 потрібно



видалити з верхнього вигляду, оскільки ці розміри будуть додані пізніше в детальний вигляд аркуша креслення.

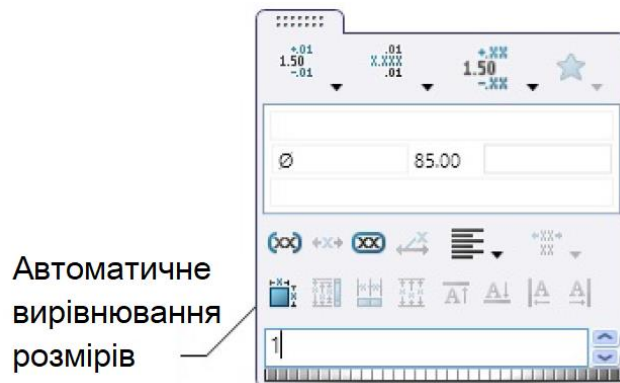


Рисунок 11.17 – Вікно Dimension Palette

8. Виберіть розмір діаметра 85 у верхньому вигляді аркуша креслення і натисніть клавішу DELETE; вибраний розмір буде видалено з верхнього вигляду. Аналогічно видаліть значення діаметрів 97, 108 і 160. Вигляд креслення після вирівнювання розмірів і видалення діаметрів показано на рисунку 11.18.

### **Примітка**

*Якщо стрілки розмірів відображаються як порожні, необхідно змінити їх на заповнені стрілки.*

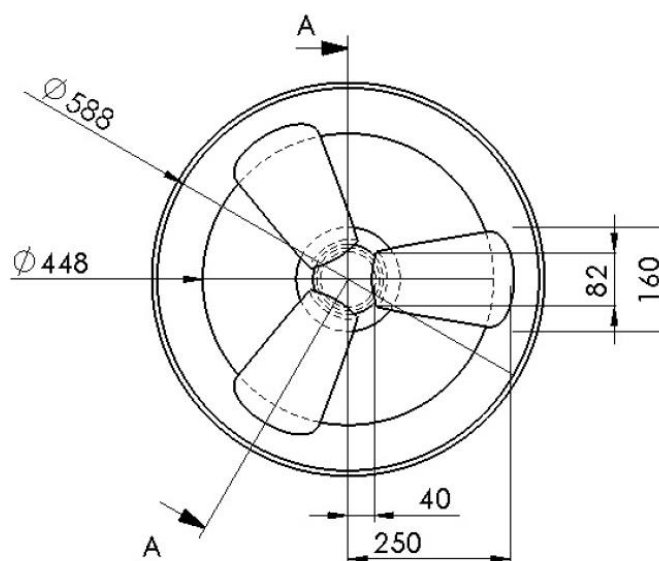


Рисунок 11.18 – Вид зверху після додавання і вирівнювання розмірів

9. Виділіть вікном усі розміри, щоб вони були включені в нього. Потім відпустіть ліву кнопку миші; усі розміри будуть вибрані, і відкриється **Dimension PropertyManager**.

10. Виберіть вкладку **Leaders** (Лінії-лідери) і оберіть опцію **Filled Arrow** (Заповнена стрілка) зі списку **Style** у розділі **Witness/Leader Display** (Відображення ліній-лідерів). Натисніть **OK**, щоб закрити **Dimension PropertyManager**; стрілки будуть змінені на заповнені.

11. Виберіть детальний вигляд на аркуші креслення і додайте розміри за допомогою інструмента **Model Items** на панелі **Annotation CommandManager**. Потім вирівняйте розміри за допомогою вікна **Dimension Palette**.

12. Видаліть зайві розміри з вигляду, а потім вирівняйте решту, перетягуючи їх у потрібні місця. Вигляд креслення після вирівнювання та видалення розмірів показано на рисунку 11.19.

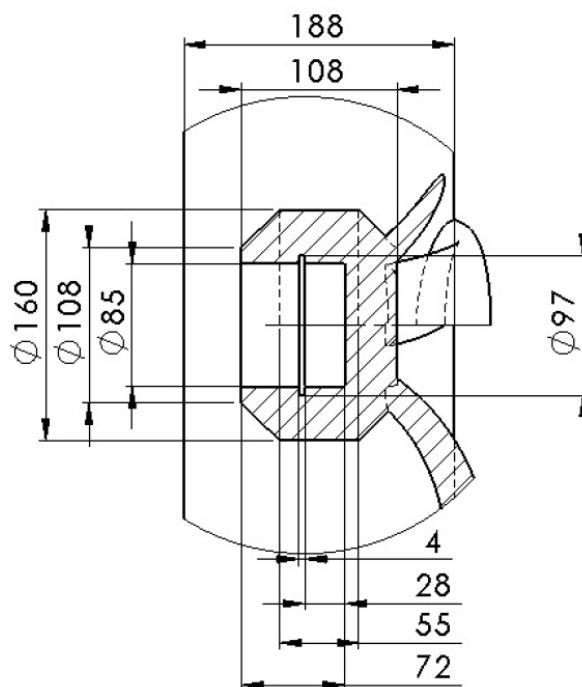


Рисунок 11.19 – Детальний вигляд після додавання і вирівнювання розмірів

### ***Порада***

*У SOLIDWORKS можна також додавати довідкові розміри до виглядів креслення в режимі **Drawing** за допомогою інструмента **Smart Dimension**, як описано в попередніх розділах.*

### Додавання символу базового елемента до вигляду креслення

Після додавання розмірів необхідно додати символ базового елемента до вигляду креслення. Символи базового елемента використовуються як базові посилання для додавання геометричних допусків до виглядів креслення.

1. Виберіть край зовнішнього циліндричного елемента у верхньому вигляді, а потім натисніть кнопку **Datum Feature** (Базовий елемент) на панелі **Annotation CommandManager**; відкриється **Datum Feature PropertyManager** (Менеджер властивостей базового елемента), а позначення базового елемента буде прикріплене до курсора.

2. Розмістіть символ базового елемента у відповідному місці (див. рис. 11.20).

3. Натисніть кнопку **OK** у **Datum Feature PropertyManager**.

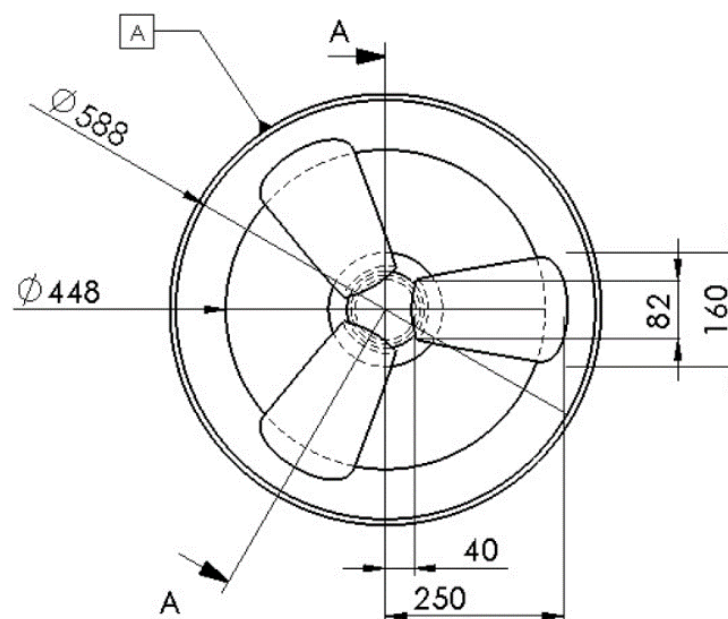


Рисунок 11.20 – Символ базового елемента, доданий до верхнього вигляду

### Додавання геометричного допуску до вигляду креслення

Після визначення символу базового елемента необхідно додати геометричний допуск до вигляду креслення.

1. Виберіть кругову кромку з діаметром 448 мм у виді зверху, а потім натисніть кнопку **Geometric Tolerance** (Геометричний допуск) на панелі

**Annotation CommandManager**; відкриється діалогове вікно **Properties**. Також до курсора буде прикріплено позначення.

Діалогове вікно **Properties** використовується для визначення параметрів геометричного допуску.

2. Виберіть стрілку вниз у спадному списку **Symbols** (Символи) у першому рядку; відкриється панель **Symbols**.

3. Виберіть опцію **Concentricity** (Співвісність) у цій панелі, а потім введіть значення 0.02 у текстове поле **Tolerance 1** (Допуск 1).

4. Введіть A у текстове поле **Primary** (Основний) для визначення основного базового елемента.

Зверніть увагу, що під час налаштування параметрів у діалоговому вікні **Properties**, попередній перегляд геометричного допуску буде динамічно змінюватися на кресленні.

5. Натисніть кнопку **OK** у діалоговому вікні **Properties**; геометричний допуск буде прикріплено до вибраної кругової кромки. За необхідності перемістіть геометричний допуск, якщо він перекриває розміри.

Рисунок 11.21 демонструє вигляд креслення після додавання та впорядкування геометричного допуску.

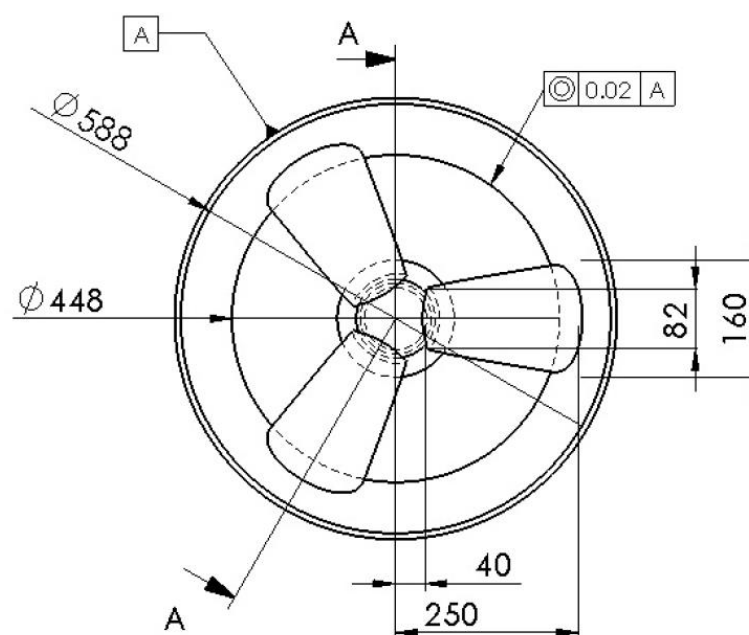


Рисунок 11.21 – Геометричний допуск, доданий до вигляду креслення

## Порада

У *SOLIDWORKS* можна додавати символи обробки поверхні до кромки або граней у виглядах креслення, використовуючи інструмент **Surface Finish** (Обробка поверхні), доступний на панелі **Annotation CommandManager**.

## Зміна параметрів відображення вигляду

Після додавання всіх анотацій до виглядів креслення необхідно змінити параметри відображення ізометричного вигляду.

1. Виберіть ізометричний вигляд на аркуші креслення; відкриється **Drawing View PropertyManager**.

2. Натисніть кнопку **Shaded With Edges** (Затінений із краями) у секції **Display Style** менеджера властивостей; стиль відображення ізометричного вигляду зміниться на **Shaded With Edges**.

На рисунку 11.22 продемонстровано остаточний аркуш креслення після зміни налаштувань відображення вигляду.

3. Збережіть і закрийте документ креслення.

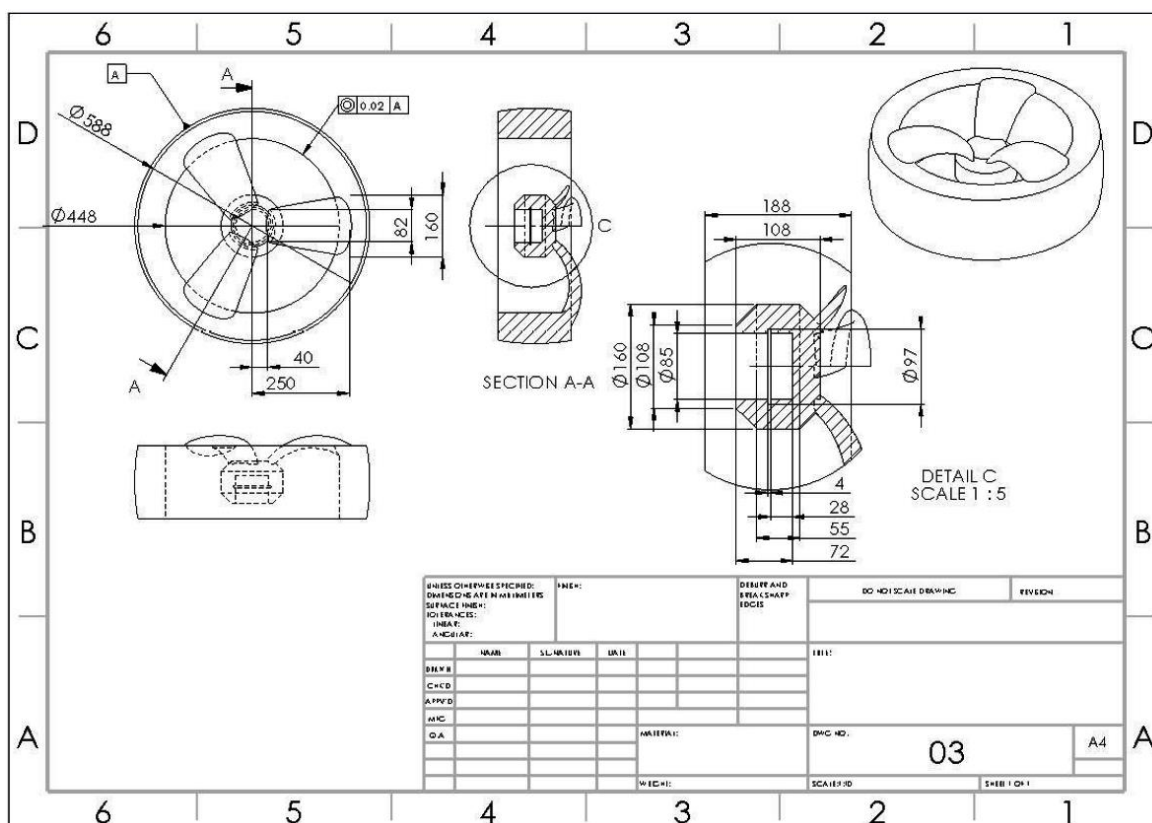


Рисунок 11.22 – Остаточний аркуш креслення

## **Питання для самоконтролю**

1. Які основні методи створення креслень доступні в SolidWorks?
2. Що таке режим Drawing Mode, і які його основні функції?
3. Як увімкнути двосторонню асоціативність між кресленнями, деталями та збірками?
4. Як створити суміщений розріз за допомогою інструмента Section View?
5. Як налаштувати масштаб креслення для ізометричного вигляду?
6. Як змінити стиль штрихування в розрізі?
7. Які інструменти використовуються для створення детальних видів?
8. Як створити специфікацію матеріалів (BOM) у кресленні збірки?
9. Як додати геометричний допуск до вигляду креслення?
10. Що таке символ базового елемента, і як його додати до креслення?

## **Практичне завдання**

В даному практичному завданні необхідно створити фронтальний вигляд, вигляд зверху та ізометричний вигляд у рознесеному стані для збірки, створеної у Практичному завданні з Розділу 8 (див. рисунки 8.65 – 8.71) . Також необхідно сформулювати специфікацію (BOM) і додати виноски до ізометричного вигляду у рознесеному стані, як показано на рисунку 11.15. Використовуйте стандартний формат аркуша А3 у ландшафтній орієнтації для виконання цього завдання.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Krupa Y., Demchuk R., Volobuiev A., Kis S. Comparative analysis of software systems for hydraulic turbine flow simulation // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units. Kharkiv: NTU "KhPI". 2023. No. 1. P. 49–55.
2. Krupa Y., Demchuk R. Numerical study of flow parameters in the high-head Francis turbine. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units. Kharkiv: NTU "KhPI". 2024. No. 1. P. 44–50.
3. SolidWorks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
4. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: Люкс, 2021. – 140 с.
5. Козар М.М. Комп'ютерна графіка: SolidWorks : навчальний посібник / М.М. Козар, Ю.В. Фещук, О.В. Парфенюк. – Херсон: Олді-плюс, 2018. – 252 с.
6. SOLIDWORKS Official Website. URL: <https://www.solidworks.com>.
7. SOLIDWORKS 3D Fluid Simulation & Flow Modeling Software: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation>.
8. Sham Tickoo. SolidWorks 2016. A Tutorial Approach / Sham Tickoo. – Purdue University Calumet, USA, 2006. – 416 p.
9. Bethune J.D. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2016 / J.D. Bethune // Peachpit Press, 2016. – 784 p.
10. Onwubolu G.C. Introduction to SolidWorks: A Comprehensive Guide with Applications in 3D Printing / G.C. Onwubolu // CRC Press, 2017. – 1193 p.

Навчальне видання

КРУПА Євгеній Сергійович

РСЗВА Ксенія Сергіївна

## **ТЕХНОЛОГІЇ САПР У ГІДРОМАШИНОБУДУВАННІ**

Навчальний посібник  
для студентів спеціальності  
145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»

Відповідальний за випуск проф. Роговий А. С.

Роботу до видання рекомендував проф. Крутіков Г. А.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 22

Підп. До друку 13.02.2025. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 21,25

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ».  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

---

Електронне видання