



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу  
Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича**

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

**Методичні вказівки до проведення практичних занять**

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Харків  
2019

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки до проведення практичних занять

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради ННІ ТС ХНТУСГ  
Протокол №7  
від 10 травня 2019р

Харків  
2019

**УДК 004.94**  
**Р 64**

Схвалено на засіданні  
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича  
Протокол №8 від "08" травня 2019 р.

Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ: метод. вказівки до проведення практичних занять для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч., спец. 133 Галузеве машинобудування / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: В.М.Грищенко, О.А.Свіргун, Є.І.Калінін, В.Б.Савченко,. - Харків : [б. в.], 2019. - 28с.

Методичні вказівки " Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ " розроблено з метою надання практичних навичок студентами під час виконання ними практичних завдань з відповідної дисципліни. Видання включає приклади вирішення задач з необхідними практичними поясненнями. Методичні вказівки містять також контрольні питання, які можуть бути використані в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

**Рецензенти:**

**Д. Б. Глушкова**, докт. техн. наук, проф., зав. кафедри технології металів та матеріалознавства ХНАДУ.

**С. О. Поляшенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Відповідальний за випуск (зав.каф.)** : В. Г. Кухтов, д-р. техн. наук, проф.

© В.М.Грищенко, О.А.Свіргун,  
Є.І.Калінін,В.Б.Савченко,  
ХНТУСГ, 2019

## ВСТУП

ANSYS - універсальна програмна система скінчено-елементного (МСЕ) аналізу, яка існує та розвивається на протязі останніх 30 років в сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) і СЕ рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестационарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестационарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування - виготовлення - випробування». ANSYS - пакет програм для комп'ютерного інженерного аналізу методом скінчених елементів, який охоплює багато напрямків розрахункового обґрунтування (механіка, гідродинаміка, електротехніка, електроніка і т.д.) і може виконувати багатодисциплінарні розрахунки.

В результаті виконання практичних робіт студент повинен навчитись на початковому рівні користуватися CAD/CAE системами. Засвоїти принципи роботи в CAD/CAE системах для розробки інженерних проєктів, послідовність роботи в CAD/CAE системах

## МОДЕЛЮВАННЯ НДС ВАЛА ТРАНСМІСІЇ ЗІ ШЛІЦАМИ

**Тема роботи:** Моделювання напружено-деформованого стану вала трансмісії з використанням типу аналізу **Static Structural** – аналізу статичної міцності в **Ansys Workbench**. Загальний вигляд вала та вихідні дані представлені на рис. 1, 2. Розглянути варіанти різної кількості шліцевих канавок.

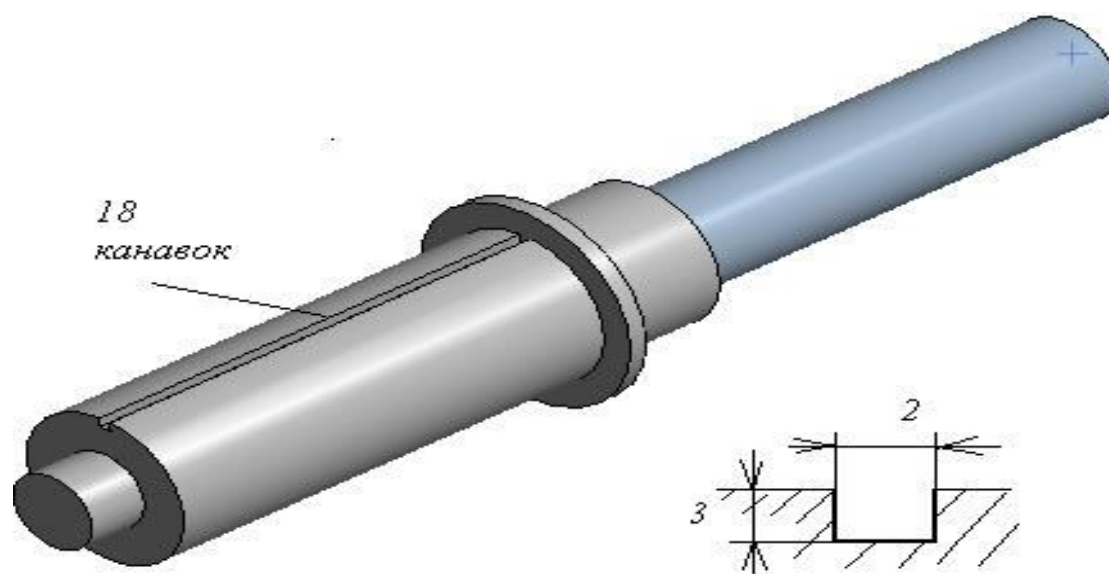


Рис.1 - Загальний вигляд вала.

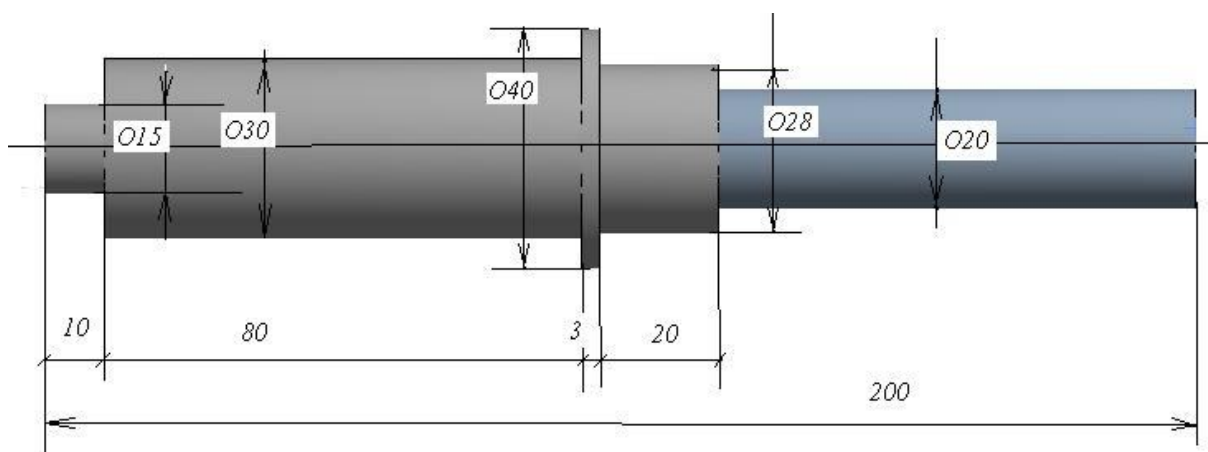


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

### Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;

- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

## **1. Підготовка проекту .**

- 1.1. ***Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;***
- 1.2. ***Запуск Workbench;***
- 1.3. ***Вибрати систему одиниць виміру – систему SI;***
- 1.4. ***Вибір типу аналізу.*** В даній роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції - **STATIC STRUCTURAL**.

## **2. Задання механічних характеристик**

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі), або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- в першому, де знаходиться бібліотека матеріалів, задано по умовчужанню матеріал *Structural Steel*. Поряд з ним натискаємо у вікні *'Click here to '* та прописуємо матеріал користувача, наприклад: *Zalizo*.
- А в другому вікні – задаємо для нього відповідні характеристики, що потрібні в даному розрахунку та інші матеріали.

**/mm/ Return to Project/** - повернення до меню проекту.

## **3. Побудова геометричної моделі.**

- 3.1. ***Активізація вікна підпрограми Desing Modeler (DM), в якому відбувається побудова геометричної моделі:***  
**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMETRY** у спливаючому вікні /.
- 3.2. ***У вкладці вибрати розміри в мм.***  
**/mm/ UNITS/;** Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (Sketchs).
- 3.3. ***Розглянемо побудову ескізу вала.***
  - 3.3.1. ***У дереві моделі TreeOutline за робочу площину виберемо XYPlane;***
  - 3.3.2. ***Побудова циліндра, що моделює носок вала:***  
**/mm/ NEWSKETCH/;**  
**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CICLE/ ;**
  - 3.3.3. ***Виставляємо виноски розмірностей та видовжуємо переріз:***

**/SKETCHING/ DIMENSIONS/ GENERAL/;**

**/mm/ EXTRUDE/** - з необхідними опціями;

**/mm/ GENERATE/**.

3.3.4. *Таким же чином будемо створювати циліндричну поверхню шліцьової частини, але перед цим поступально переміщуємо систему координат на початок цього валу ( вздовж від'ємної осі Z).*

**/mm/ NEW PLANE/** та задаємо необхідні опції;

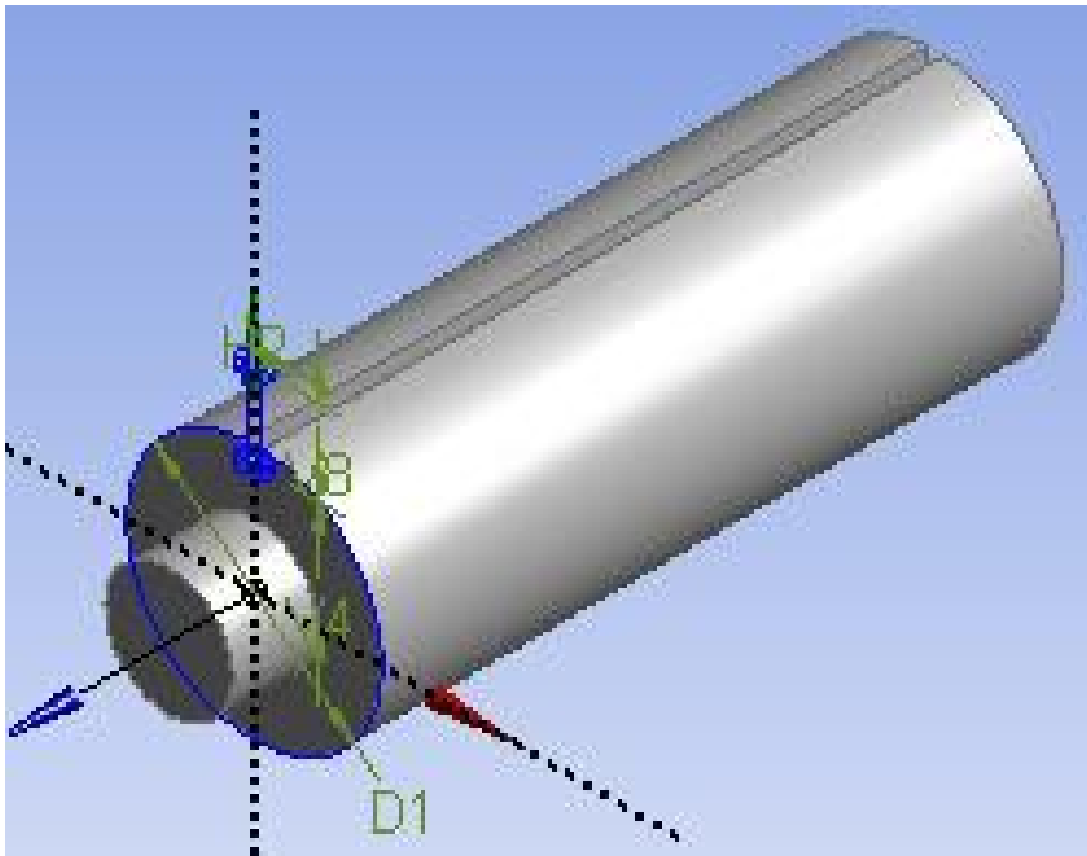


Рис.3 - Шліцьова частина.

3.3.5. *Надалі будемо створювати ескіз перерізу одного шліця та видовжуємо в обидві сторони*

**/mm/EXTRUDE/** при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (Add Frozen), та видовжують шліць симетрично в обидва боки (Both Symmetric).

**/mm/ GENERATE/** (рис. 4).

3.3.6. *Тепер з допомогою булевих операцій видаляємо з матеріалу вала матеріал шліця.*

**/mm/ CREATE/ BOOLEAN/** при цьому обрати **Subtract** в меню **Details**.

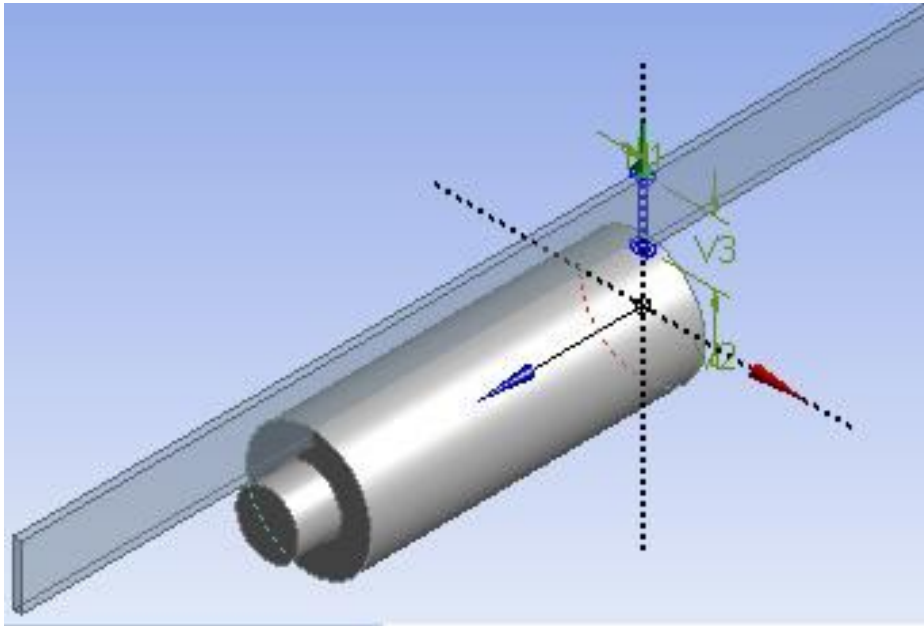


Рис.4.

3.3.7. *Надалі моделюванню підлягають циліндричні частини вала трансмісії, в якому повторюються попередні операції. Особливу увагу при цьому потрібно звернути лише на своєчасний лінійний переніс системи координат вздовж від'ємної частини осі Z, та моделювання хвостовика вала як окремого об'єкту-body (Add Frozen). Це потрібно для того, щоб продемонструвати як задаються різним частинам конструкції різні характеристики матеріалів.*

### Результати

Рисунки (5-12) демонструють результати подальшого моделювання.

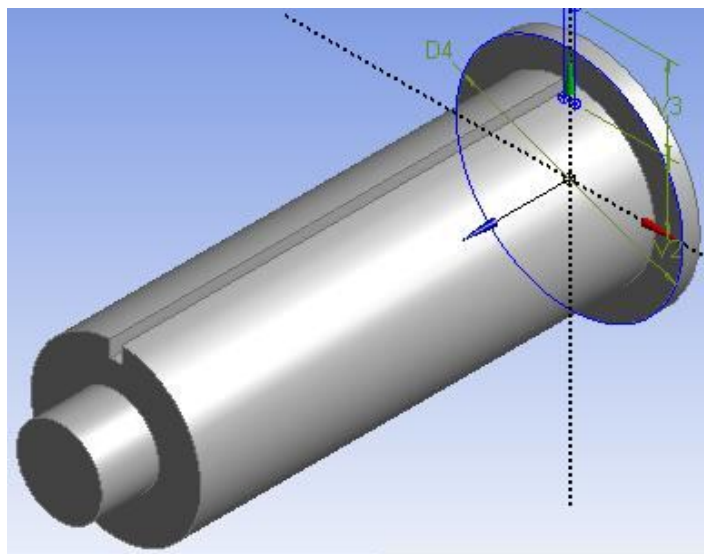


Рис.5.



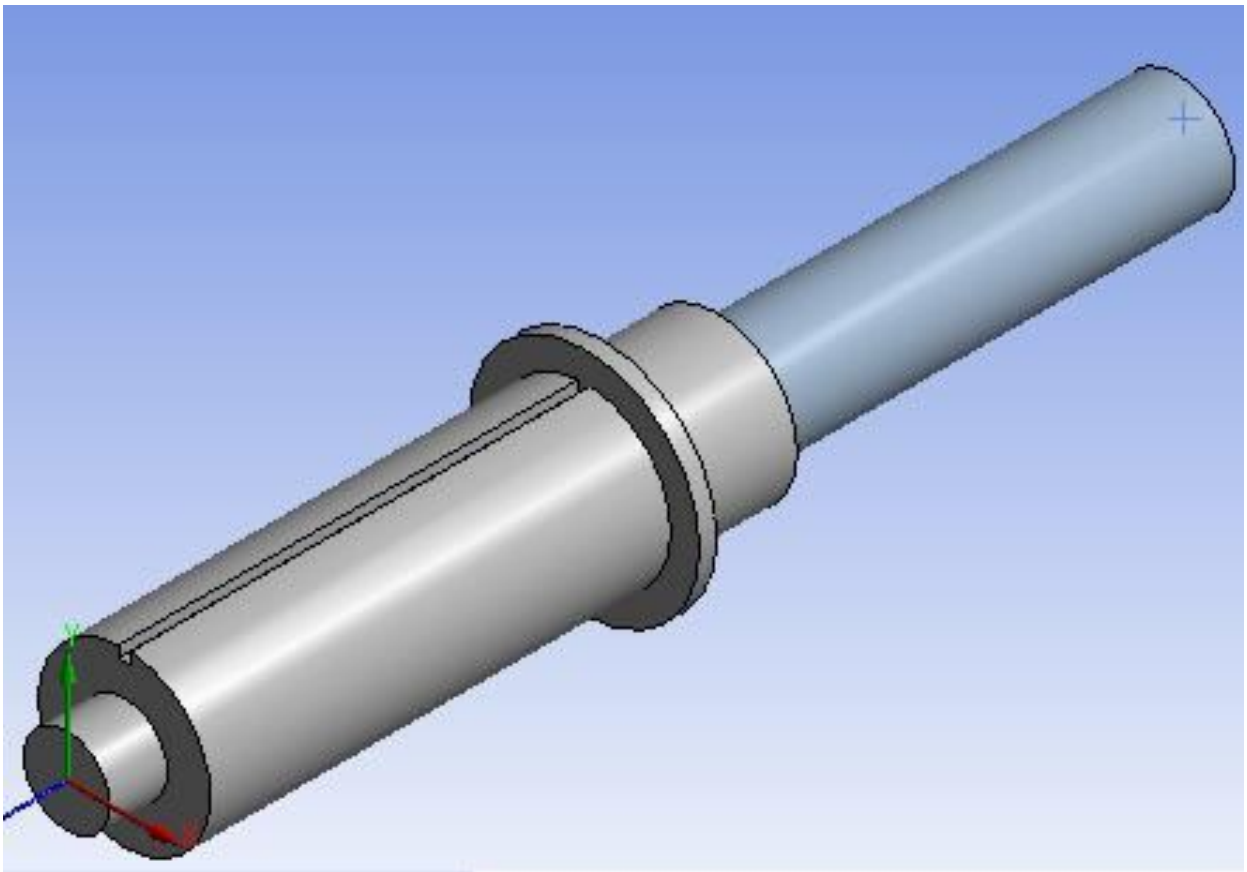


Рис.6.

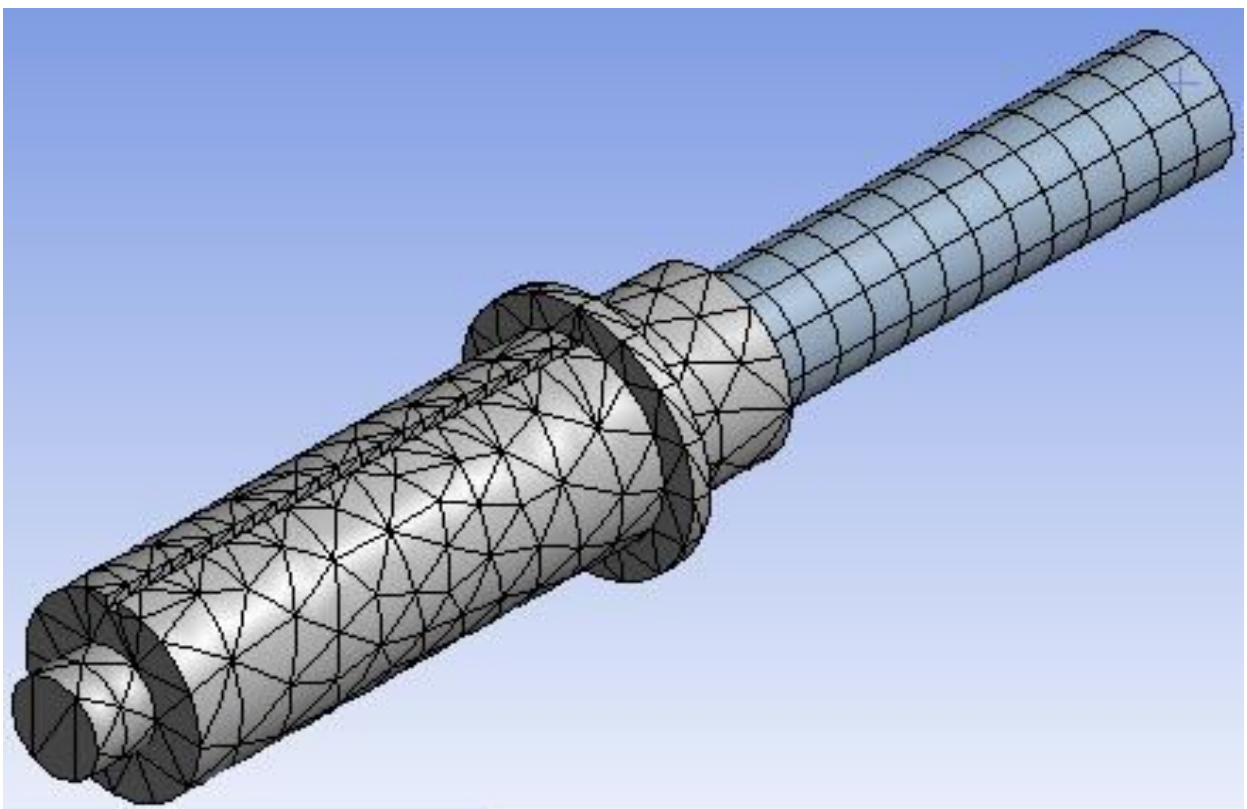


Рис.7.

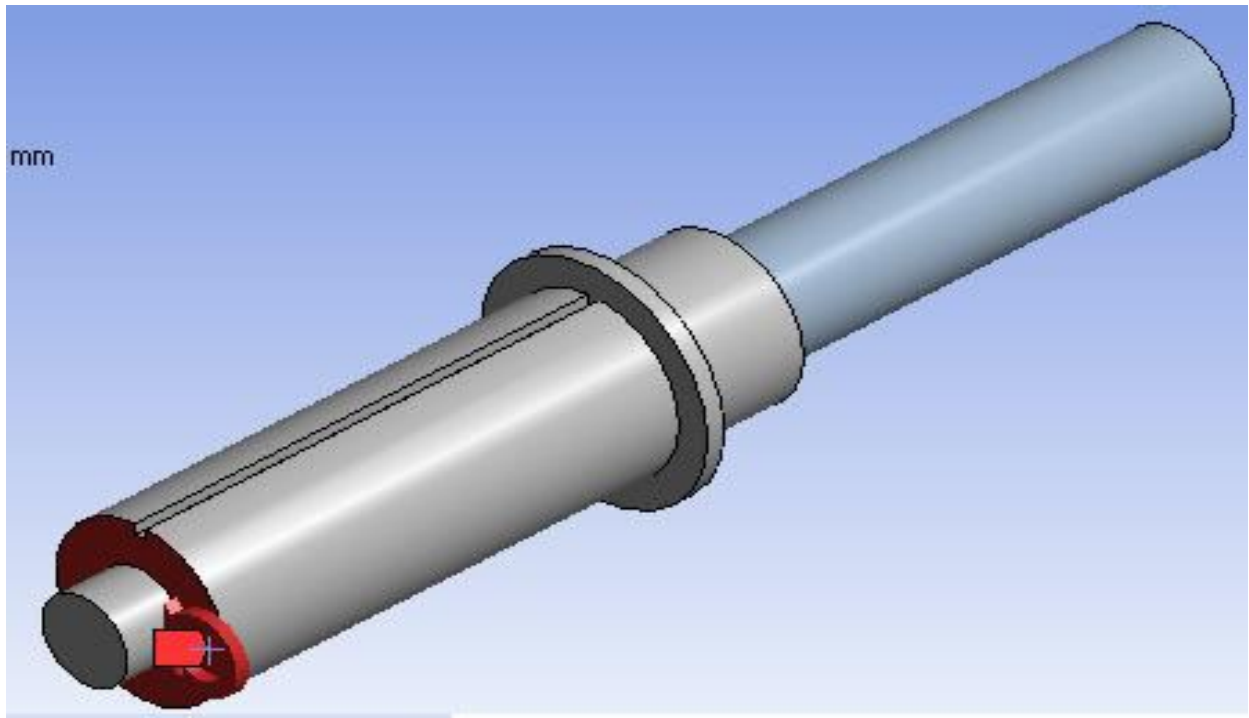


Рис.8.

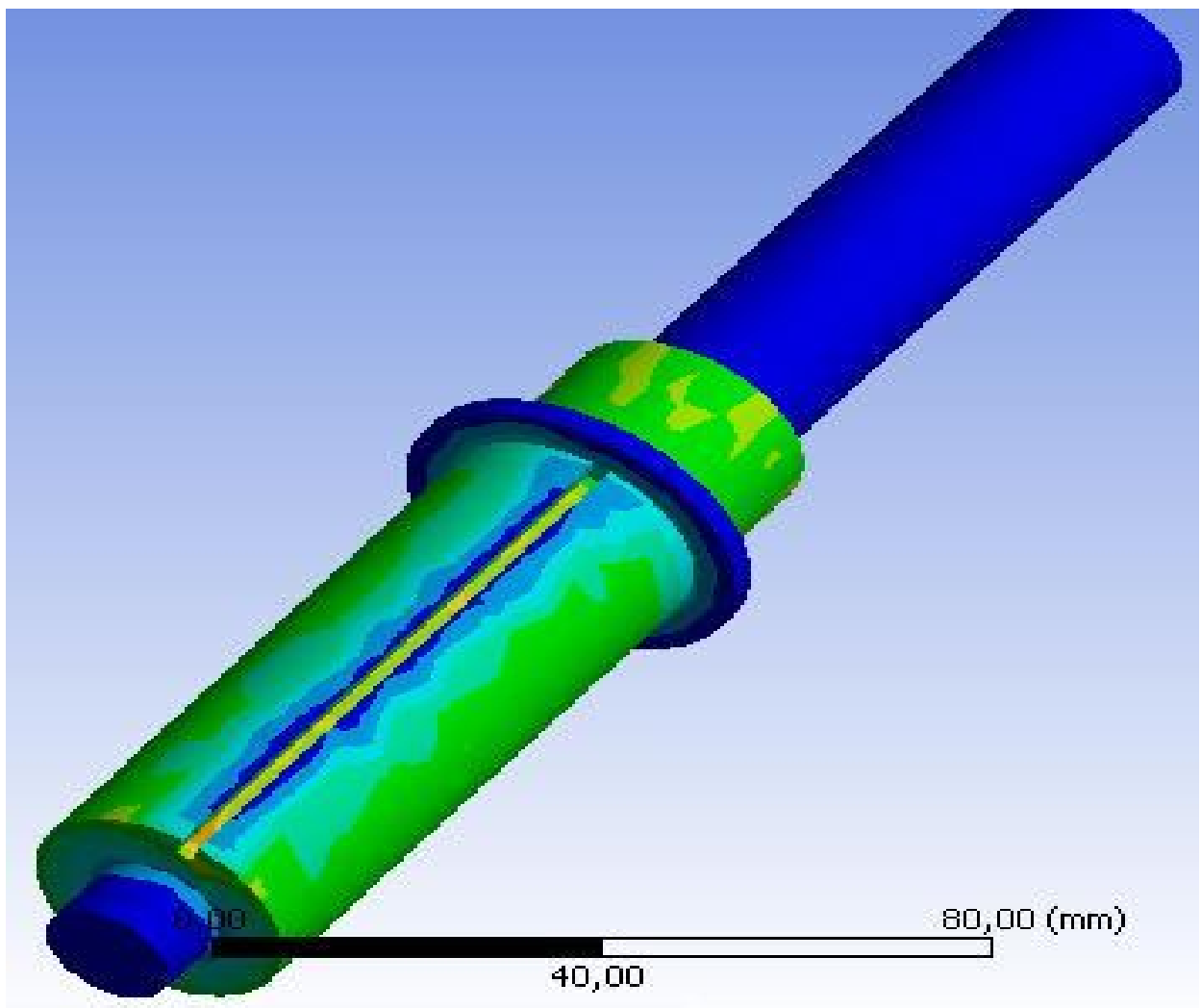


Рис.9.

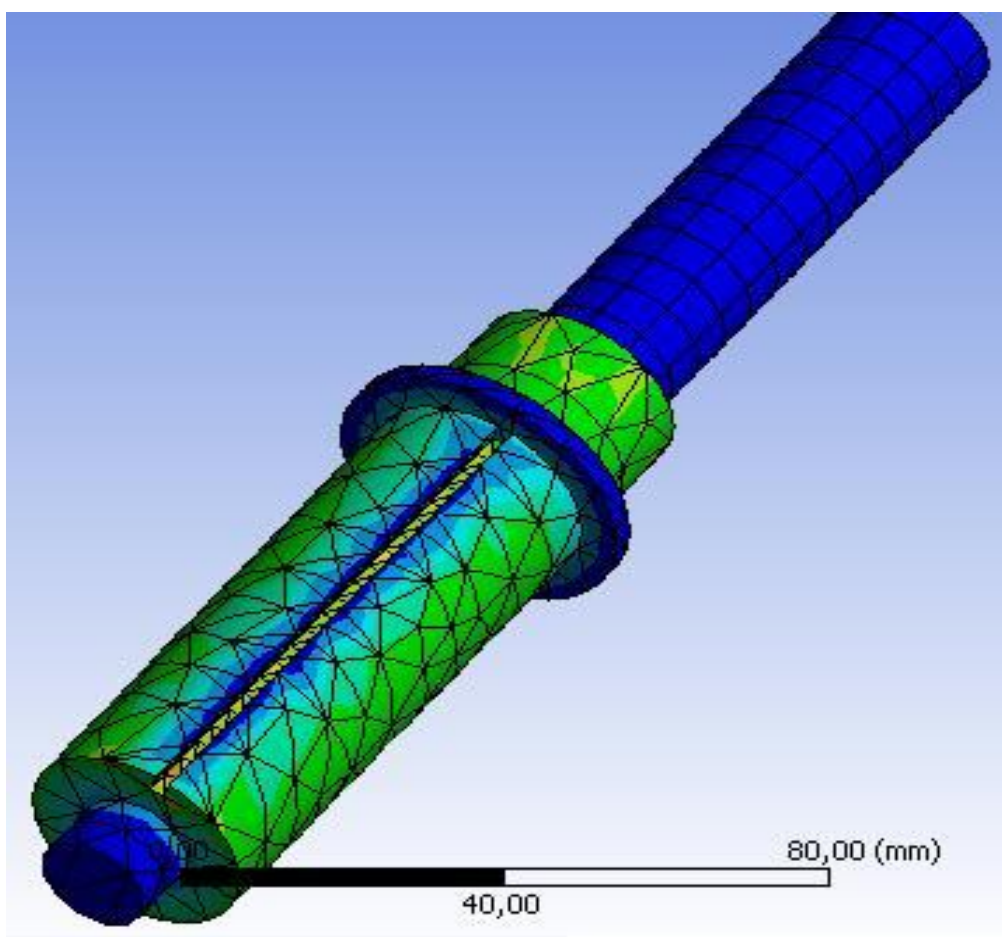


Рис.10.

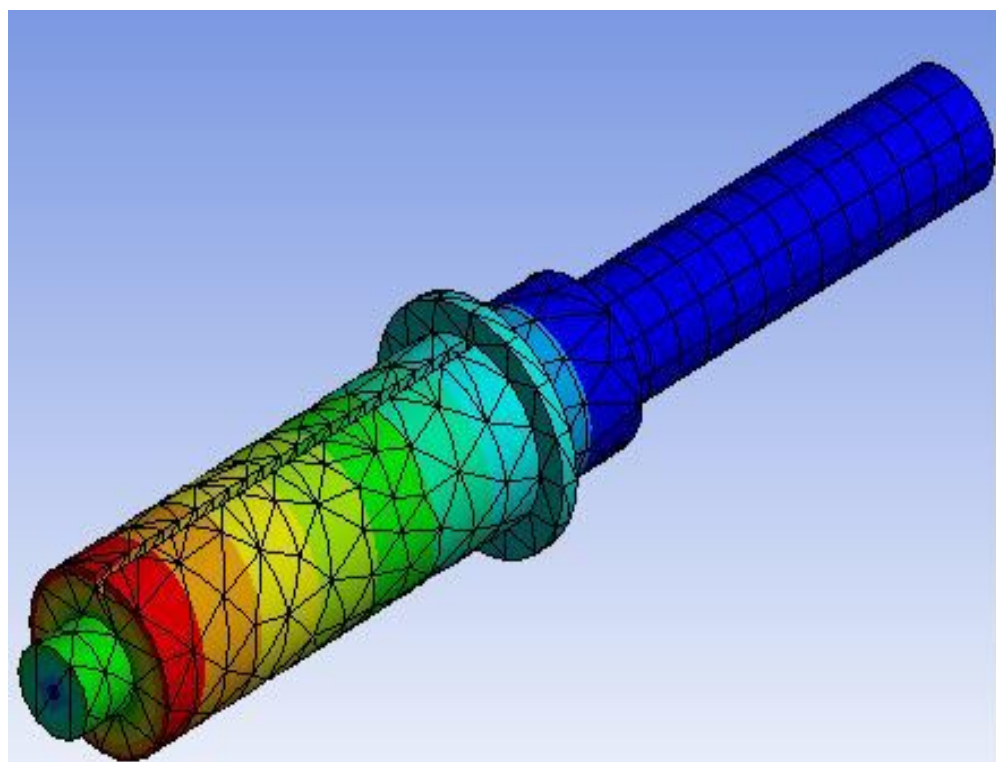


Рис.11.

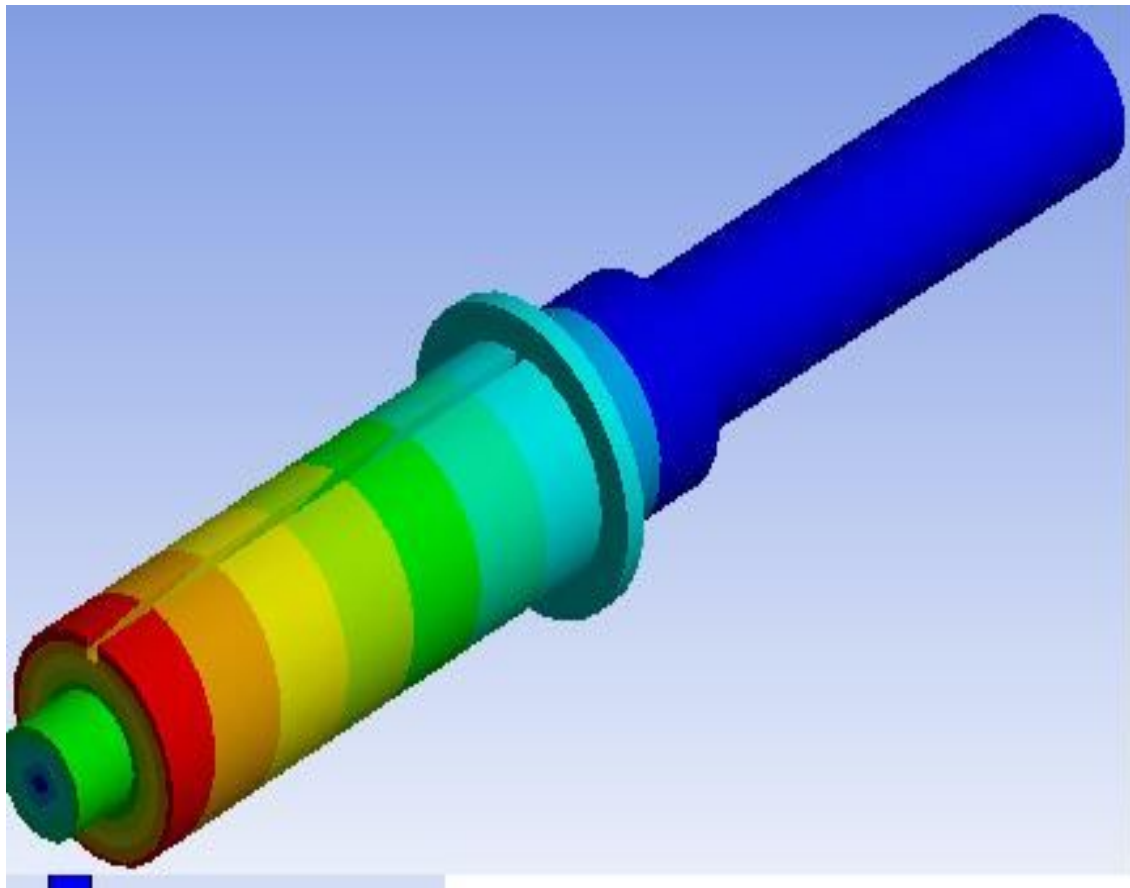


Рис.12.

### **Контрольні питання:**

1. В яких одиницях в системі СІ вимірюється відстань?
2. Які інструменти призначені для геометричного моделювання в Ansys Workbench?
3. Пояснити, що таке напруження, деформація, закон Гука, Е та яким чином ці характеристики задаються для конкретного матеріалу?
4. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей.?
5. Які пункти меню дозволяють змінювати проєкції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
6. Опишіть контекстне меню Design Modeler при побудові ескізу.
7. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?

## ПОБУДОВА ТВЕРДОТІЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПОРШНЯ ЗАСОБАМИ ANSYS WORKBENCH

*Тема роботи:* набуття практичних навичок побудови геометричної моделі поршня, загальний вигляд якої приведений на рис. 1

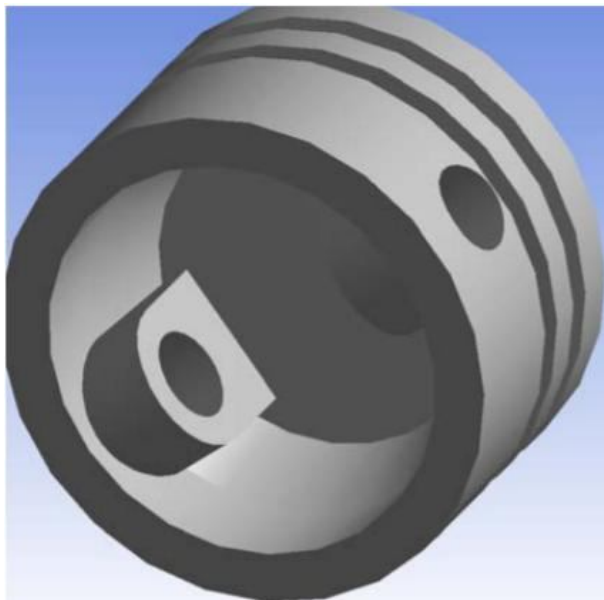


Рис.1 - Загальний вигляд поршня

Вихідні дані для побудови моделі наведені на рисунку 2.

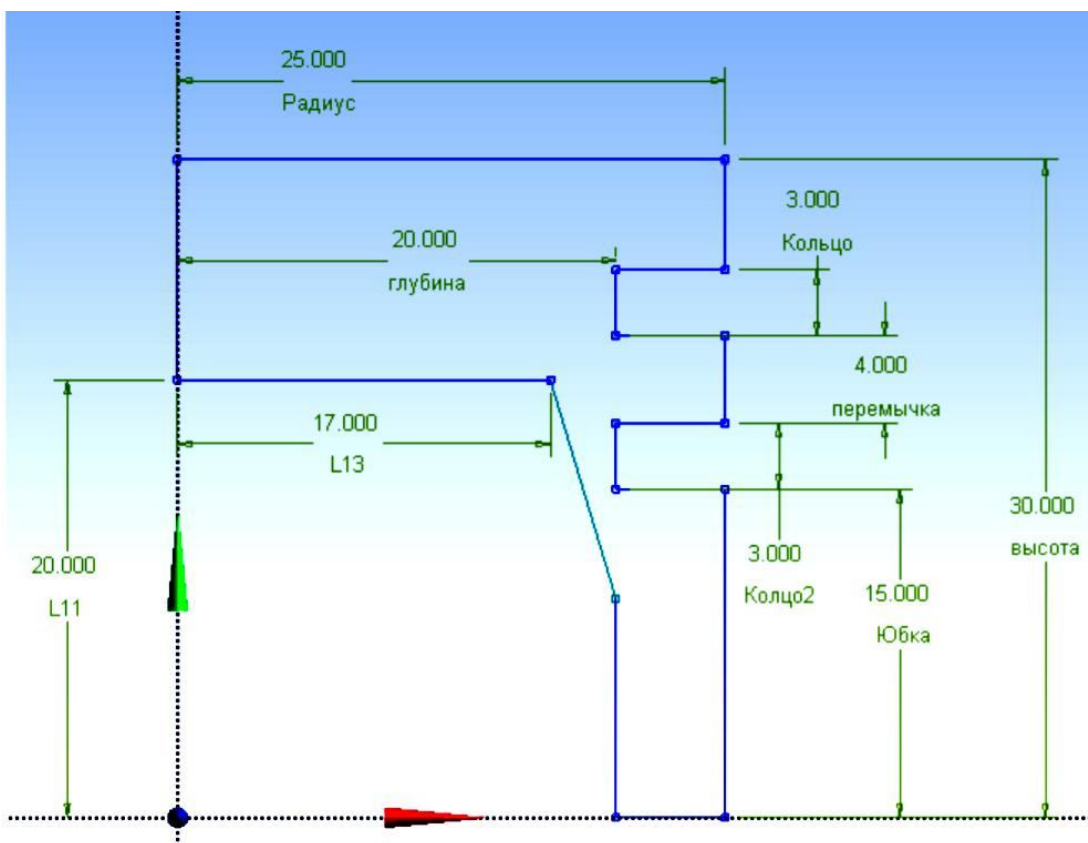


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

## Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;
- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

### Запуск програми.

1. Через стартове меню **ПУСК — ПРОГРАМИ — ANSYS — WORKBENCH**;
2. Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;  
(наприклад, на диску **F:\LabANSYS\_2**);
3. Запуск **Workbench**. Створення нового проекту: вказати робочу директорію та унікальне ім'я файлам.  
**/ПУСК/ ПРОГРАМИ/ ANSYSWORKBENCH/ SAVE AS/**.
4. Вибір типу аналізу.  
**/TOOLBOX/ ANALYSIS SYSTEM/ STATIC STRUCTURAL/** - В цій роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції. При цьому в полі вікна схеми проектів активізується меню даного проекту, яке включає такі позиції:
  - **Engineering Data** – підпрограма вибору механічних властивостей матеріалу;
  - **Geometry** – підпрограма побудови геометричної моделі;
  - **Model** – підпрограма побудови SE-сітки та вибору граничних умов;
  - **Setup and Solution** – задання опцій для процедур розрахунку;
  - **Results** – візуалізація отриманих результатів.

Завантажена платформа має головне меню, панель інструментів (**Toolbox**) та схему проектів (**Project Schematic**).



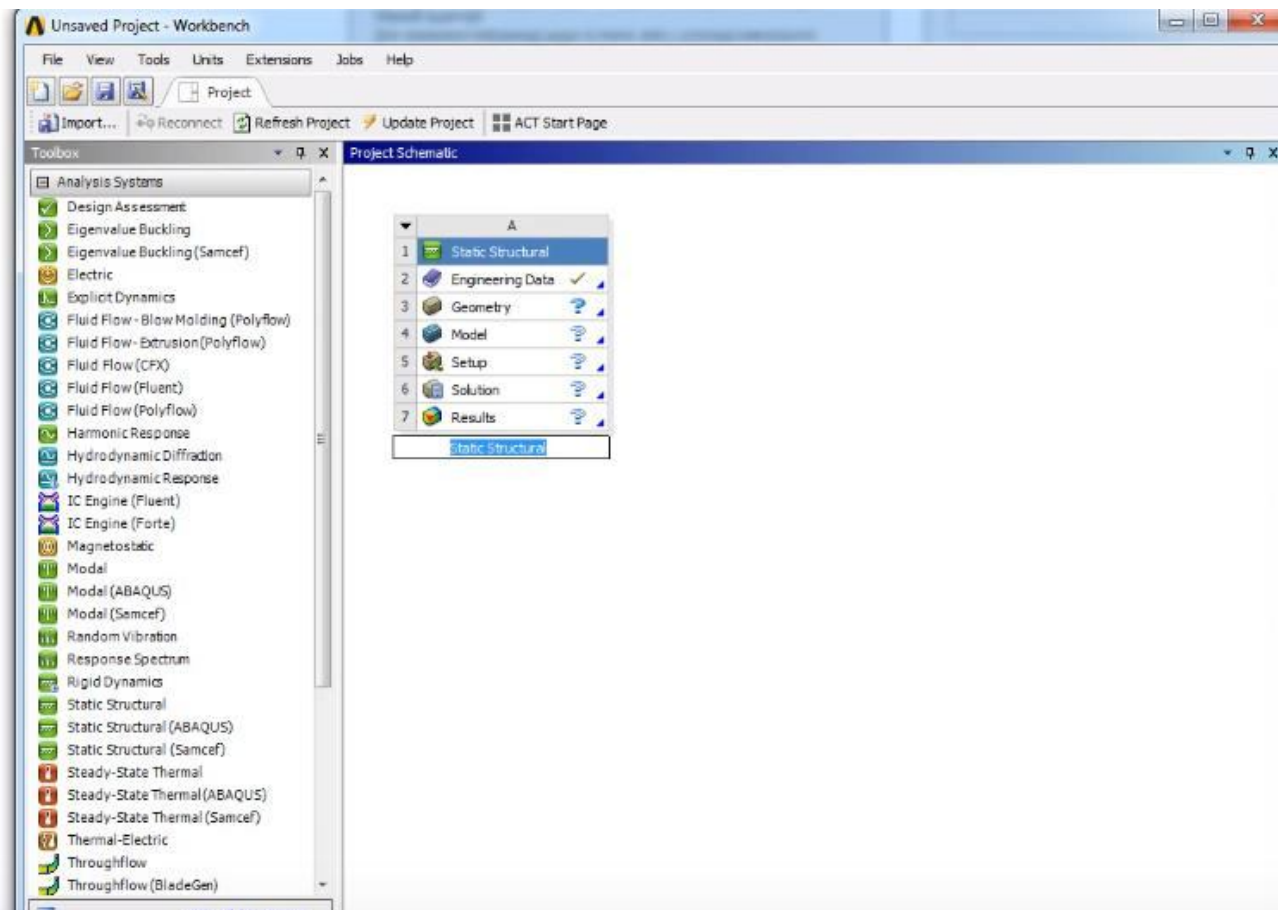


Рис.3 - Загальний вигляд панелі

## 5. Задання механічних характеристик

В вікні *Project Schematic* (рис.4) створюється блок вибору матеріалу деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на

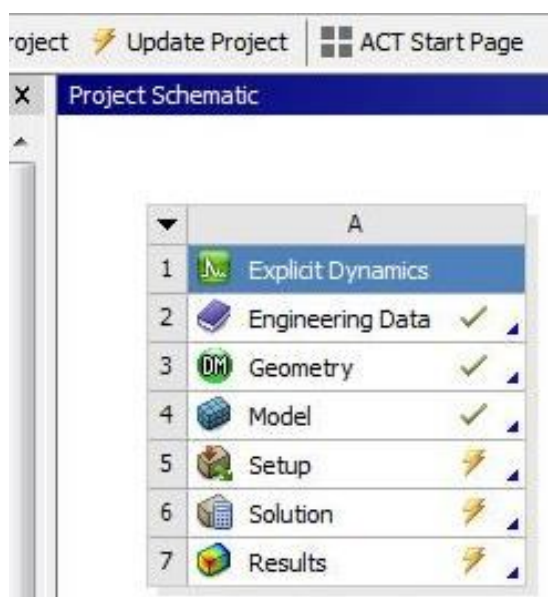
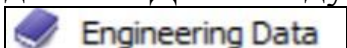


Рис.4 - Вікно Project Schematic

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі),

або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- в першому – бібліотека матеріалів;
- в другому – вибір характеристик конкретного матеріалу;
- в третьому – перегляд заданих у бібліотеці властивостей для обраного матеріалу.


Виберемо в бібліотеці матеріал **Structural Steel**.

Зауваження : якщо вікно аналізу **Engineering Data** приховане, то:

**/MM/ VIEW/ RESET/ WORKSPACE/**.

**/MM/ RETURN TO PROJECT/** - повернення до меню проекту.

## 6. Побудова геометричної моделі.

В вікні *Project Schematic* створюється блок геометрії деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на .

Після чого буде запущено модуль роботи з геометрією *Design Modeler*.

Варто сказати кілька слів про способи управління в графічному вікні програми:

- ЛКМ - відповідає за виділення геометрії;
- СКМ - дозволяє орієнтуватися в просторі і обертати модель;
- ПКМ - дозволяє масштабувати деталь і викликати контекстне меню.

6.1. Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:

**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMENTRY** у спливаючому вікні /.

*Desing Modeler (DM)* включає:

- *Main Menu* – головне меню;
- *Tree Outline* – дерево геометричної моделі;
- *Graphics* – вікно виводу графіки.

Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).

Вибір системи одиниць виміру – систему СІ.

**/MAIN MENU/ UNITS/ METRIC/**.

У вкладці вибрати розміри в мм. **/MM/ UNITS/;**

Поршень буде тілом обертання. Тому першою операцією логічно





виконати операцію обертання.

Далі необхідно буде створити бобишки і інші конструктивні елементи: фаски, камеру згоряння, перемички, вирізи і т.д.

Для створення моделі поршня за допомогою операції обертання необхідно побудувати ескіз. Ескіз буде профілем поршня і віссю обертання

6.2. Розглянемо побудову ескізу поршня.

6.2.1. У дереві моделі ЛКМ *TreeOutline* за робочу площину виберемо *XYPlane*;

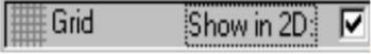
У графічному вікні пунктиром підсвічуються осі X і Y. Щоб перейти в режим редагування ескізу, необхідно вибрати *Sketching* в тому ж вікні. Для ортогональної орієнтації до площини ескізу необхідно вибрати на панелі іконку  або викликати контекстне меню через ПКМ і вибрати  *Look at*, що рівноцінно.

**/mm/ NEWSKETCH/.**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1 (правою)/ LOOK AT FACE/.**


6.2.2. Побудова контуру поршня з розмірами, які задані в вихідних даних:

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ LINE/** 

Для зручності малювання вертикальних і горизонтальних ліній включимо відображення допоміжної сітки за допомогою панелі *Sketching Toolboxes-Settings*, встановивши галочку навпроти *Grid-Show in 2D* 

Під час створення ліній поряд з'являтимуться букви **V** та **H** (прив'язки), що визначають просторове положення лінії в ескізі. Буква **V** показує, що лінія має строго вертикальне положення, а буква **H** визначає горизонтальну лінію. Щоб припинити створення чергової лінії, необхідно натискати *Escape*.

При створенні профілю потрібно часта зміна масштабу. Зручно використовувати локальне масштабування.

За допомогою ПКМ (затиснувши) виділяємо прямокутну ділянку для необхідного збільшення і відпускаємо кнопку. Для повернення до загального вигляду ескізу використовуємо команду в контекстному меню (через ПКМ) *Zoom to Fit* або натискаємо  на головній панелі.

Командами *Line* креслимо контур поршня, показаний на рис. 4.



*Horizontal* або *Vertical* - горизонтальний або вертикальний розмір відповідно;

*Length/Distance* - довжина або відстань між об'єктами ескіза;

*Radius* або *Diameter* — радіальний або діаметральний розмір відповідно.

Відзначимо, що величина розміру може бути змінений у будь-який час у вікні *Details View* або виконанням команди

### SKETCHING TOOLBOXES/DIMENSIONS/EDIT.

Щоб бачити характеристики розміру необхідно виконати команди **SKETCHING/TOOLBOXES/DIMENSIONS/DISPLAY/** і вибрати відображення імені розміру (*Name*) або значення (*Value*).

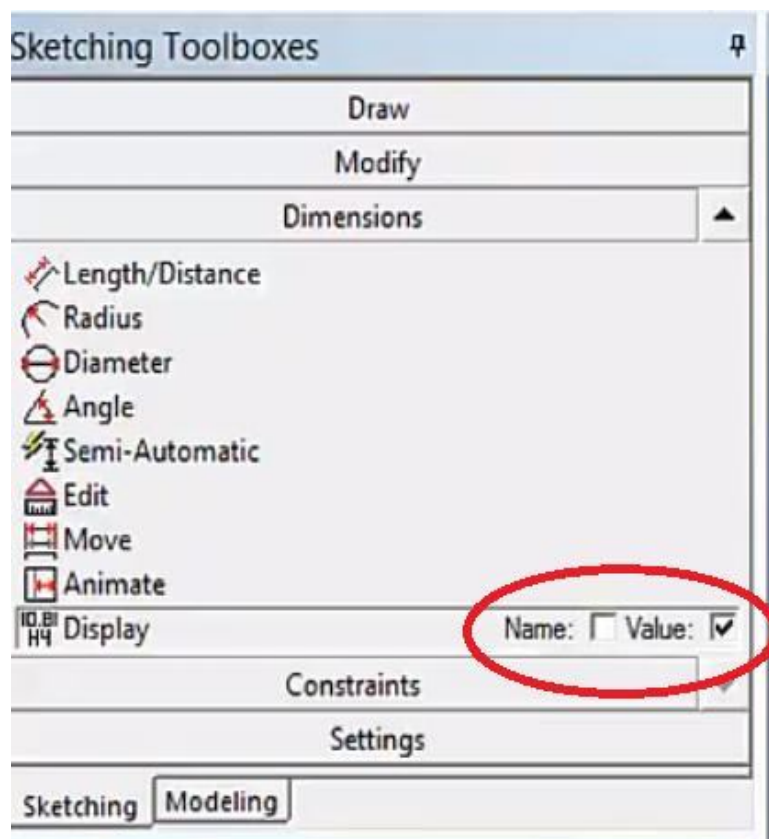


Рис.7 - Характеристики розмірів

Переходимо до меню загального моделювання:

### /TREE OUTLINE/ MODELLING/;

Після того, як був отриманий основний профіль поршня, приступаємо до побудови тривимірної моделі основного тіла.

Для обертання побудованого профілю використовуємо команду «обертання». *Revolve*

### MAIN MENU/REVOLVE/

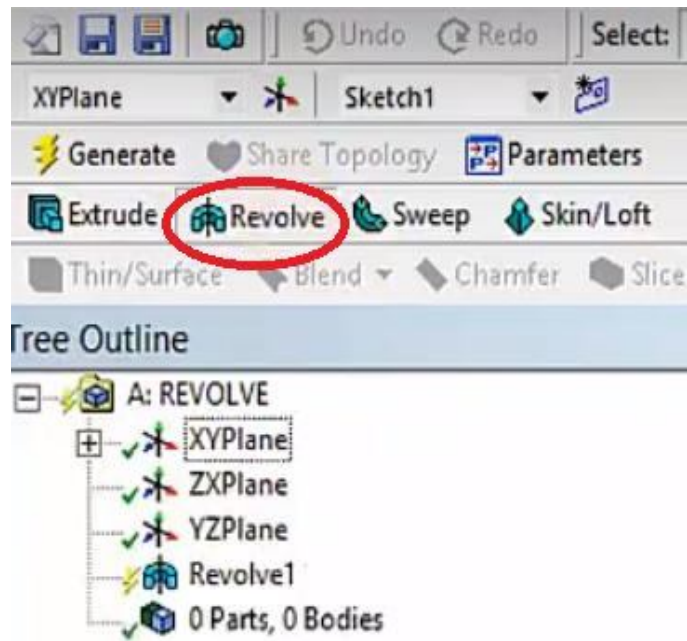


Рис.8 - Команда Revolve

Після вибору якої у вікні *Details View* з'являється вікно налаштувань параметрів операції обертання (рис.9).

В якості базового об'єкта вкажемо створений раніше ескіз. Віссю обертання буде вісь *Y*.

**AXIS** (клік вісь *Y*)/**APPLY**/

Кут обертання 360°

Напрямок –Normal

Всі інші параметри можна залишити тими-ж самими «за умовчанням».



Рис.9 - Налаштування операції обертання

/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі



Після виконання команди *Revolve* буде отримана деталь, яка зображена на рис.10.

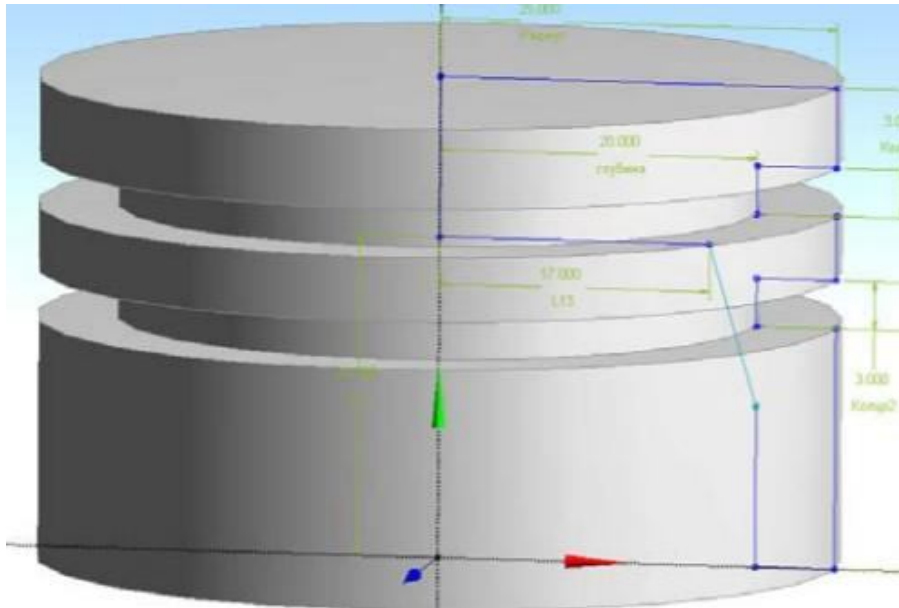


Рис.10 - Результат виконання операції *Revolve*

Наступним етапом створення тривимірної твердотільної моделі поршня є побудова бобишек.

Спершу необхідно побудувати площину, в якій буде побудована бобишка. Ця площина буде зміщена відносно попередньої на деяку величину в напрямку осі Z. Ця величина конструктивна. В нашому випадку зміщення 12 мм.


NEW PLANE (  ). З'являється вікно *Details of plane5*.

Details of Plane5	
Plane	Plane5
Type	From Plane
Base Plane	XYPlane
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

Рис.11 - Налаштування вікна при створенні нової площини

*Поступально переміщуємо систему координат вздовж осі Z.*

**DETAILS OF PLANE5/ TRANSFORM1/OFFSET Z(ПКМ)/ VALUE/12MM/ GENERATE/**

На побудованій площині створюємо ескіз, натиснувши ЛКМ іконку нового ескізу  на головній панелі.

Побудова ескізу аналогічно побудові ескізу в операції обертання.

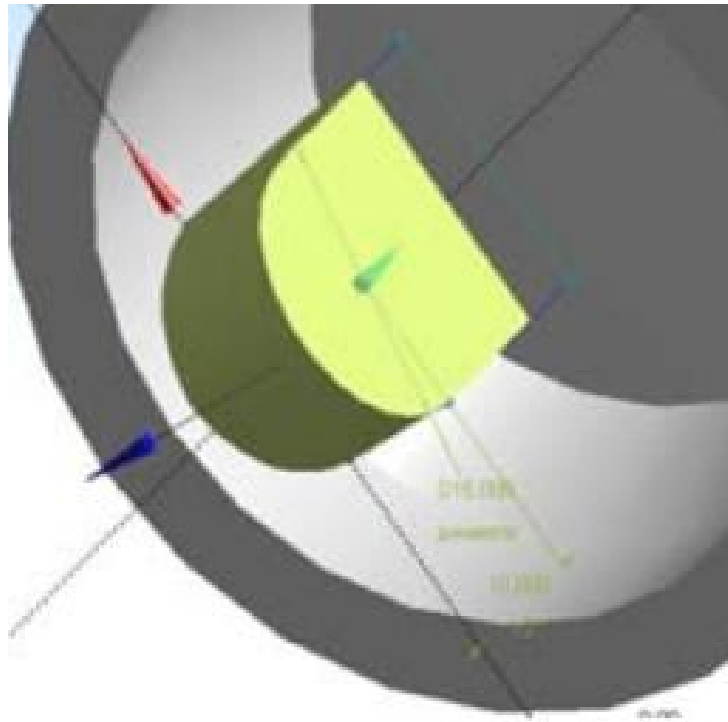



Рис.12 - Ескіз бобишки

**/mm/ NEWSKETCH/;**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1NG/ DRAW/**

На панелі меню вибираємо кнопку **Extrude**  для видовження побудованого ескізу, при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (**Add Frozen**). У вікні **DV** задаємо його точну довжину.

Для пункту **Extent Type**, значення якого за допомогою ЛКМ встановлюємо - **To Next**, і пункту **Operation**, значення якого встановлюємо **Add Frozen**. Після виконання операції буде створено 2 різних тіла.

**/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.**

Далі необхідно отримати дзеркальну копію побудованої бобишки щодо площині **XYPlane**. Для цього скористаємося командою **Pattern**.

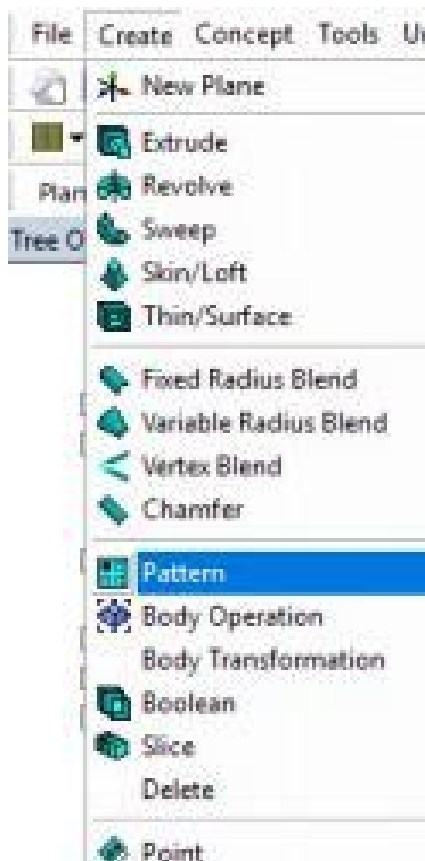


Рис.13 - Команда Pattern.

Налаштування команди здійснимо згідно рис. 14.

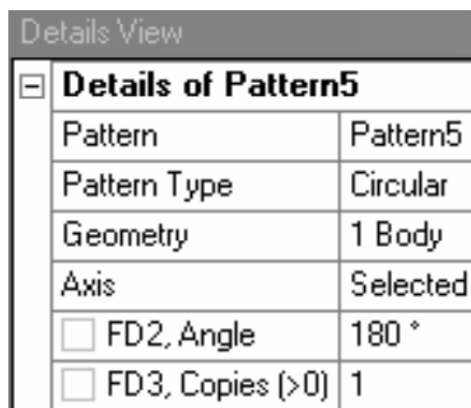


Рисунок 14. Налаштування вікна копіювання бобишки

**/GENERATE/** - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.

Після виконання команди будуть отримані 3 тіла. Тепер необхідно здійснити поєднання цих трьох тіл в одне тіло, для чого скористаємося

командою булевої операції  **Boolean**. Для виконання команди необхідно з затиснутою клавішею CTRL виділити три тіла.

**/CREATE/ BOOLEAN/ GENERATE/**.

У вікні **Tree Outline** повинно бути одне тверде тіло (рис. 15).



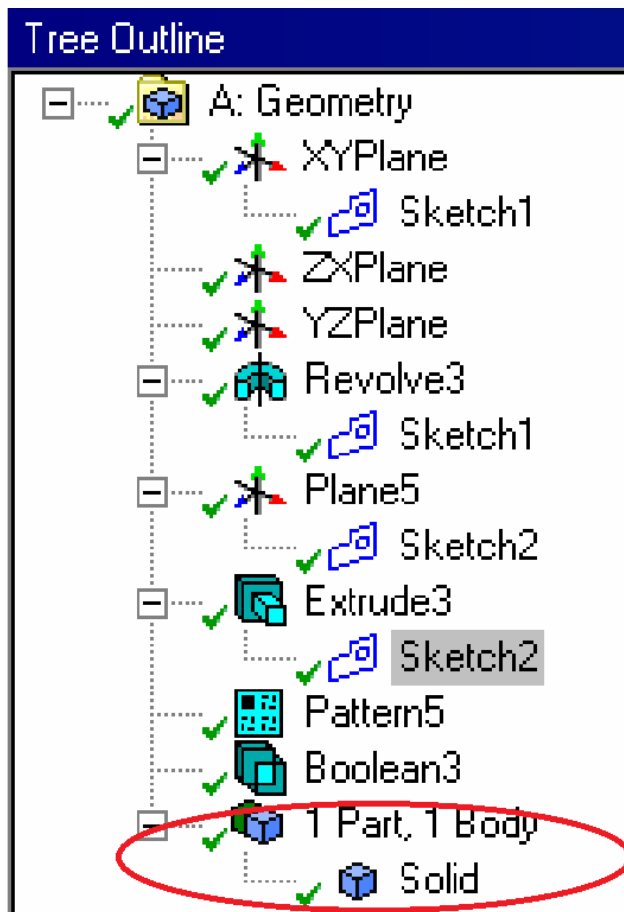


Рис.15 - Вид вікна проекту після об'єднання частин

Побудована модель поршня не містить отвір під поршневий палець. Для побудови отвору під поршневий палець використовується вже знайома команда *Extrude*.

*Будуємо коло в площині XYPlane.*

**/TREE OUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CIRCLE/** - далі задаємо точні розміри кола та його положення .

*Переходимо до меню загального моделювання :*

**/TREE OUTLINE/ MODELLING/;**

*Будуємо отвір у попередній тривимірній моделі шляхом екструзії Sketch2.*

**/mm/ EXTRUDE/** . При цьому потрібно задати опції вирізання (Cut) матеріалу із існуючої заготовки:

**/DETAILS VIEW/ OPERATION/ CUTMATERIAL/.**

**/DIRECTION/BOTH/SYMMETRIC/EXTENT TYPE/THROUGH ALL/**

*Запоминаємо всі проведені побудови:*

**/mm/ GENERATE/.**



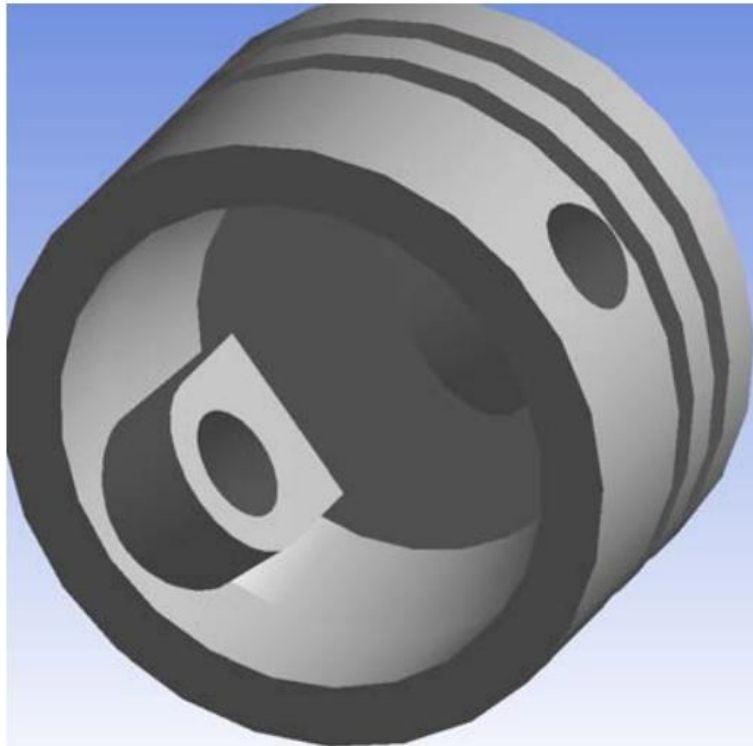



Рисунок 16. Побудована модель поршня

Для виконання операції фаски вибираємо в головному вікні команду  Chamfer

**/MAIN MENU/ CHAMFER/**


**Вибираємо, натиснувши клавішу Ctrl два нижніх ребра поршня, що знаходяться на юбці**

**/DETAILS VIEW/GEOMETRY/APPLY.**

**TYPE /LEFT-ANGLE.**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

Для виконання операції округлення вибираємо в головному вікні команду  Blend. Для цього служить команда, яка дозволяє вибрати як постійний радіус округлення **Fixed Radius Blend**, так і змінний - **Variable Radius Blend**.

**MAIN MENU/BLEND/**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

**/SAVE/ - готового проекту.**

**По ходу виконання проекту для формування звіту потрібно зберегти у файлах копії поточних рисунків.**

## Результати

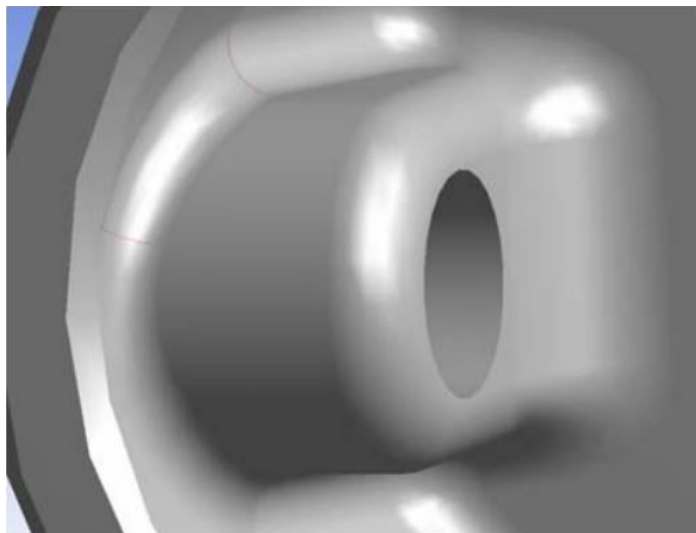


Рис.17 - Вид на внутрішню частину поршня після застосування операцій округлення і фаски

### Контрольні питання:

1. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей?
2. Які пункти меню дозволяють змінювати проекції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
3. Опишіть контекстне меню **Design Modeler** при побудові ескізу.
4. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?
5. За допомогою яких команд можливо набудувати **CEM** в програмному середовищі **Ansys Workbench**?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство пользователя ANSYS. Краткий курс Краткое описание основ в Ansys. -26 с.
2. Бруяка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. - Учебное пособие. - Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2010. - 271 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах Под общ. ред. Д. Г. Красковского. - М: КомпьютерПресс, 2002. -224 с: ил.
4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя М.: ДМК Пресс, 2005. - 640 с.: ил.
5. Огородникова О. М. Компьютерный инженерный анализ в среде ANSYS Workbench [Электронный ресурс] // Екатеринбург: Техноцентр компьютерного инжиниринга УрФУ. 2018. 350 с.
6. Глинкин С. А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / С. А. Глинкин; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 107 с

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Моделювання НДС вала трансмісії зі шліцами.....	4
Побудова твердотільної моделі поршня засобами ANSYS WORKBENCH.....	12
Література .....	26

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки  
до проведення практичних занять

**Укладачі:**

**ГРИЩЕНКО** Володимир Миколайович,  
**СВІРГУН** Ольга Анатоліївна  
**КАЛІНІН** Євген Іванович,  
**САВЧЕНКО** Володимир Борисович,

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Умов. друк. арк. 1,63  
Наклад 100 примірників.

---

Віддруковано у друкарні ФОП Заночкин Д.Л.  
м. Харків, вул.Плеханівська, 16.  
Зам. 0305/2019. тел. 757-93-82.



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу  
Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича**

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

**Методичні вказівки до проведення практичних занять**

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Харків  
2019

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки до проведення практичних занять

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради ННІ ТС ХНТУСГ  
Протокол №7  
від 10 травня 2019р

Харків  
2019

**УДК 004.94**  
**Р 64**

Схвалено на засіданні  
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича  
Протокол №8 від "08" травня 2019 р.

Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ: метод. вказівки до проведення практичних занять для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч., спец. 133 Галузеве машинобудування / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: В.М.Грищенко, О.А.Свіргун, Є.І.Калінін, В.Б.Савченко,. - Харків : [б. в.], 2019. - 28с.

Методичні вказівки " Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ " розроблено з метою надання практичних навичок студентами під час виконання ними практичних завдань з відповідної дисципліни. Видання включає приклади вирішення задач з необхідними практичними поясненнями. Методичні вказівки містять також контрольні питання, які можуть бути використані в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

**Рецензенти:**

**Д. Б. Глушкова**, докт. техн. наук, проф., зав. кафедри технології металів та матеріалознавства ХНАДУ.

**С. О. Поляшенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Відповідальний за випуск (зав.каф.)** : В. Г. Кухтов, д-р. техн. наук, проф.

© В.М.Грищенко, О.А.Свіргун,  
Є.І.Калінін,В.Б.Савченко,  
ХНТУСГ, 2019



## ВСТУП

ANSYS - універсальна програмна система скінчено-елементного (МСЕ) аналізу, яка існує та розвивається на протязі останніх 30 років в сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) і СЕ рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестационарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестационарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування - виготовлення - випробування». ANSYS - пакет програм для комп'ютерного інженерного аналізу методом скінчених елементів, який охоплює багато напрямків розрахункового обґрунтування (механіка, гідродинаміка, електротехніка, електроніка і т.д.) і може виконувати багатодисциплінарні розрахунки.

В результаті виконання практичних робіт студент повинен навчитись на початковому рівні користуватися CAD/CAE системами. Засвоїти принципи роботи в CAD/CAE системах для розробки інженерних проєктів, послідовність роботи в CAD/CAE системах

## МОДЕЛЮВАННЯ НДС ВАЛА ТРАНСМІСІЇ ЗІ ШЛІЦАМИ

**Тема роботи:** Моделювання напружено-деформованого стану вала трансмісії з використанням типу аналізу **Static Structural** – аналізу статичної міцності в **Ansys Workbench**. Загальний вигляд вала та вихідні дані представлені на рис. 1, 2. Розглянути варіанти різної кількості шліцевих канавок.

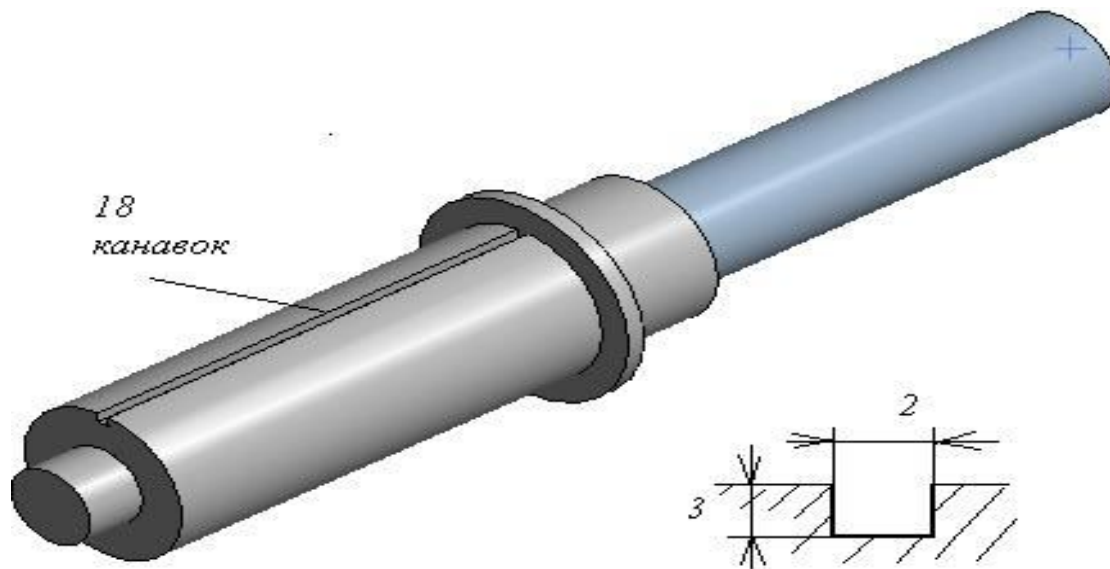


Рис.1 - Загальний вигляд вала.

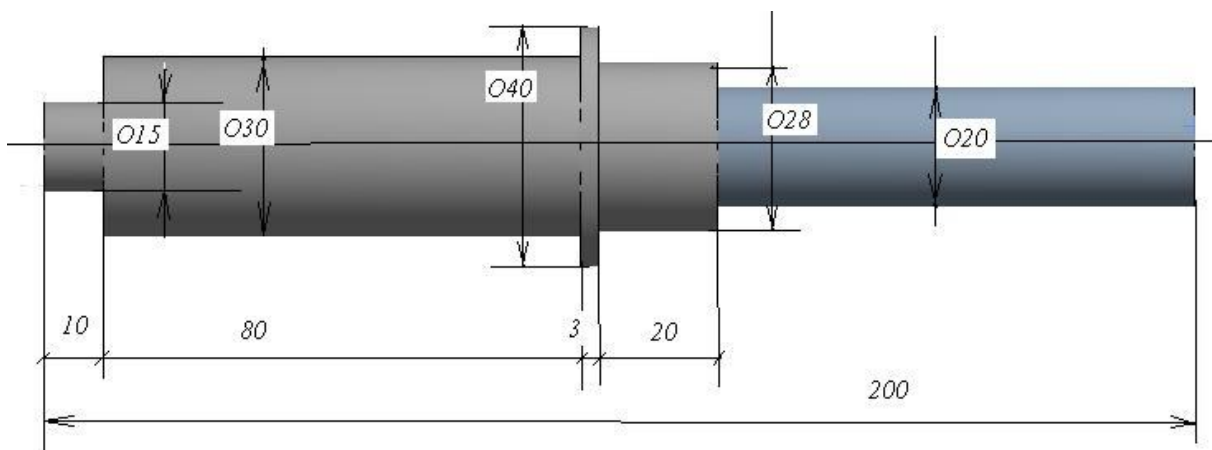


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

### Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;

- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

## **1. Підготовка проекту .**

- 1.1. *Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;*
- 1.2. *Запуск Workbench;*
- 1.3. *Вибрати систему одиниць виміру – систему SI;*
- 1.4. *Вибір типу аналізу. В даній роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції - **STATIC STRUCTURAL**.*

## **2. Задання механічних характеристик**

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі), або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- *в першому, де знаходиться бібліотека матеріалів, задано по умовчужанню матеріал *Structural Steel*. Поряд з ним натискаємо у вікні ‘Click here to ’ та прописуємо матеріал користувача, наприклад: *Zalizo*.*
- *А в другому вікні –задаємо для нього відповідні характеристики, що потрібні в даному розрахунку та інші матеріали.*

**/mm/ Return to Project/** - повернення до меню проекту.

## **3. Побудова геометричної моделі.**

- 3.1. *Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:*  
**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMETRY** у спливаючому вікні /.
- 3.2. *У вкладці вибрати розміри в мм.*  
**/mm/ UNITS/**; Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).
- 3.3. *Розглянемо побудову ескізу вала.*
  - 3.3.1. *У дереві моделі *TreeOutline* за робочу площину виберемо *XYPlane*;*
  - 3.3.2. *Побудова циліндра, що моделює носок вала:*  
**/mm/ NEWSKETCH/**;  
**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CICLE/ ;**
  - 3.3.3. *Виставляємо виноска розмірностей та видовжуємо переріз:*

**/SKETCHING/ DIMENSIONS/ GENERAL/;**

**/mm/ EXTRUDE/** - з необхідними опціями;

**/mm/ GENERATE/**.

3.3.4. *Таким же чином будемо будемо циліндричну поверхню шліцьової частини, але перед цим поступально переміщуємо систему координат на початок цього валу ( вздовж від'ємної осі Z).*

**/mm/ NEW PLANE/** та задаємо необхідні опції;

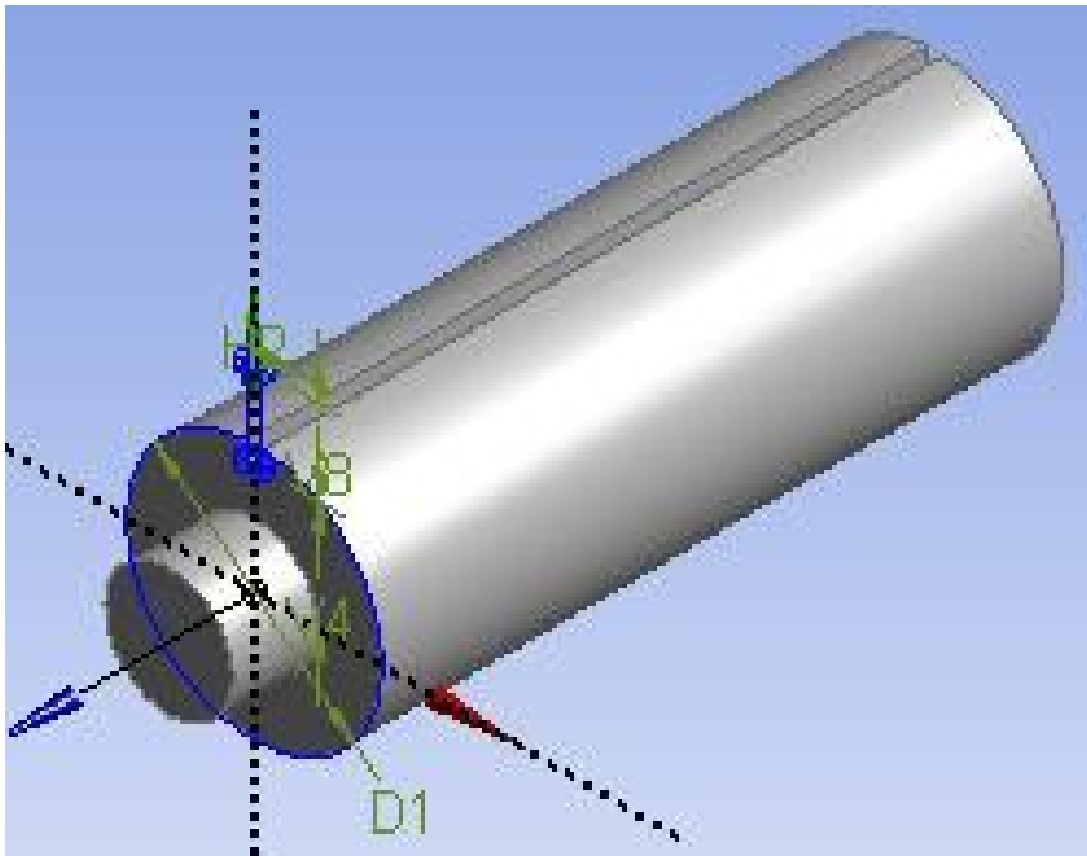


Рис.3 - Шліцьова частина.

3.3.5. *Надалі будемо ескіз перерізу одного шліця та видовжуємо в обидві сторони*

**/mm/EXTRUDE/** при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (Add Frozen), та видовжують шліц симетрично в обидва боки (Both Symmetric).

**/mm/ GENERATE/** (рис. 4).

3.3.6. *Тепер з допомогою булевих операцій видаляємо з матеріалу вала матеріал шліця.*

**/mm/ CREATE/ BOOLEAN/** при цьому обрати **Subtract** в меню **Details**.

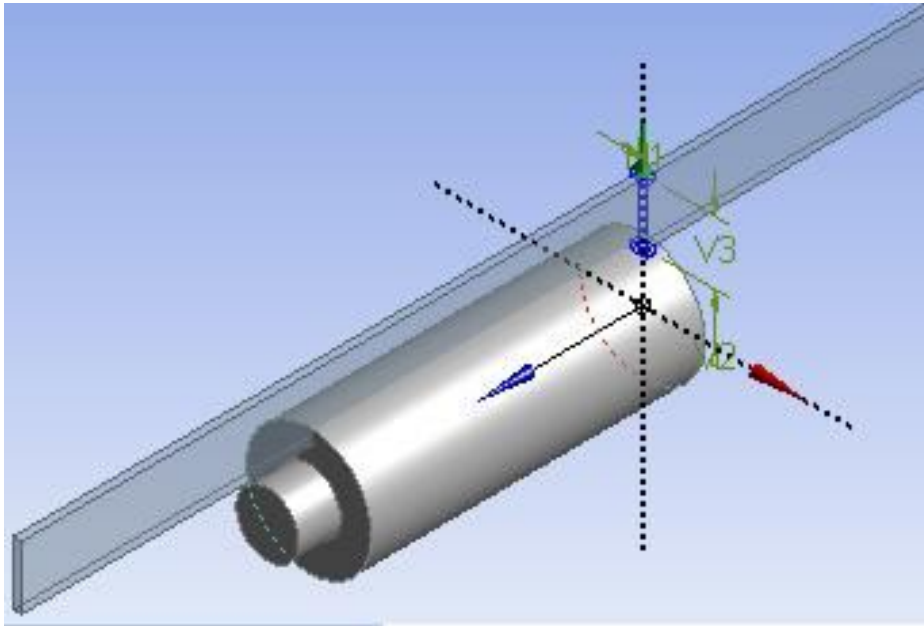


Рис.4.

3.3.7. *Надалі моделюванню підлягають циліндричні частини вала трансмісії, в якому повторюються попередні операції. Особливу увагу при цьому потрібно звернути лише на своєчасний лінійний переніс системи координат вздовж від'ємної частини осі Z, та моделювання хвостовика вала як окремого об'єкту-body (Add Frozen). Це потрібно для того, щоб продемонструвати як задаються різним частинам конструкції різні характеристики матеріалів.*

### Результати

Рисунки (5-12) демонструють результати подальшого моделювання.

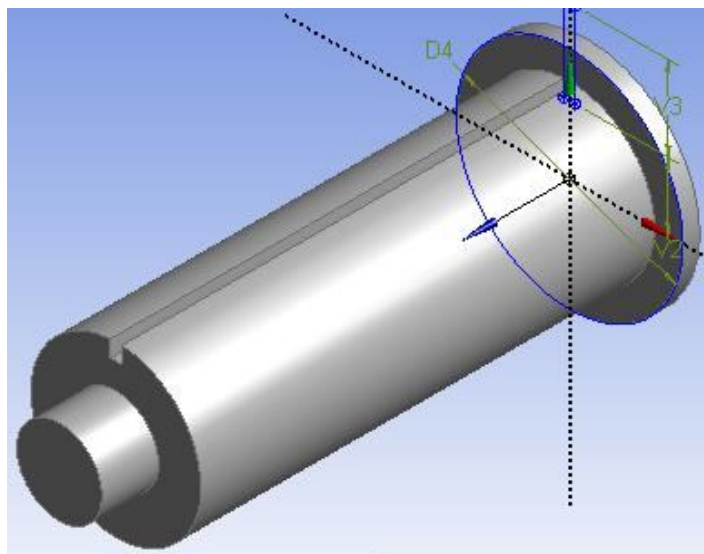


Рис.5.

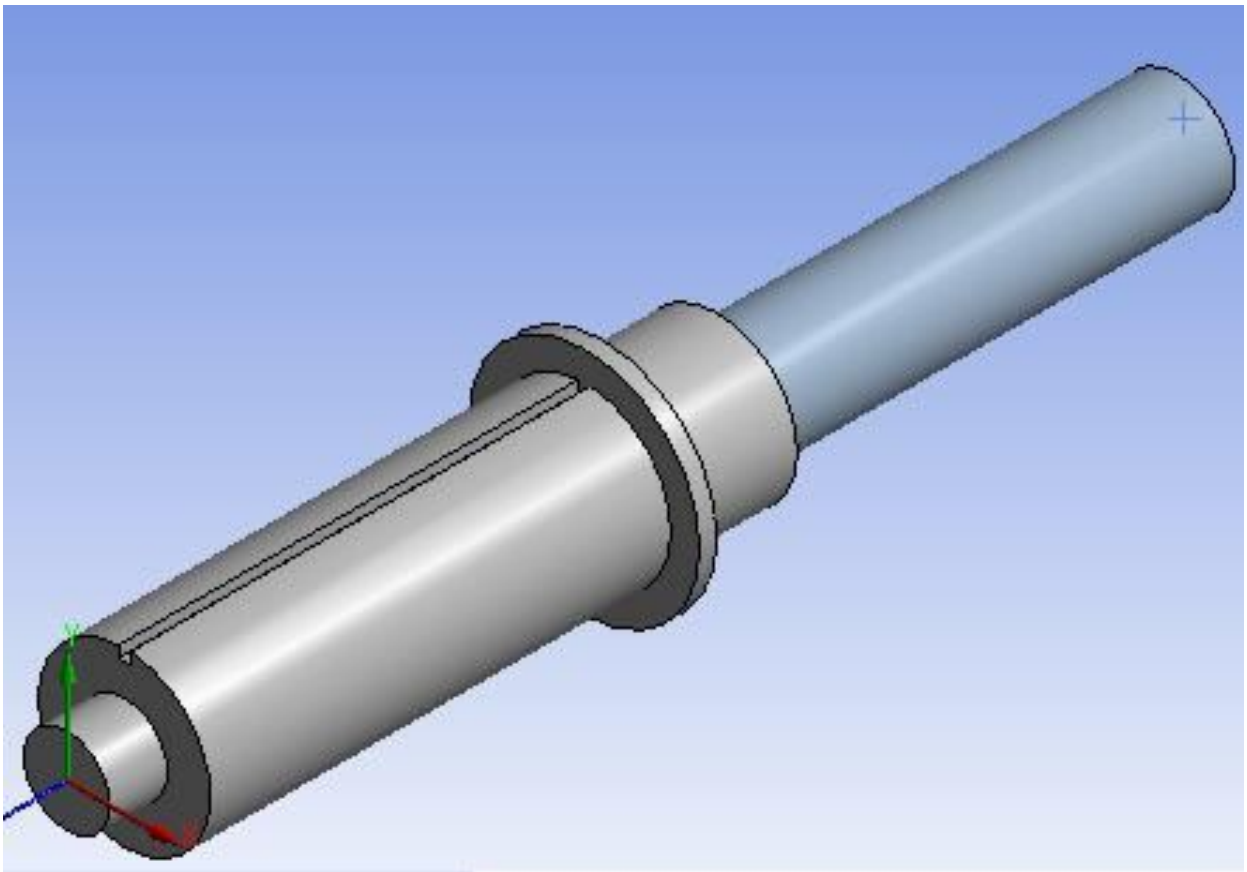


Рис.6.

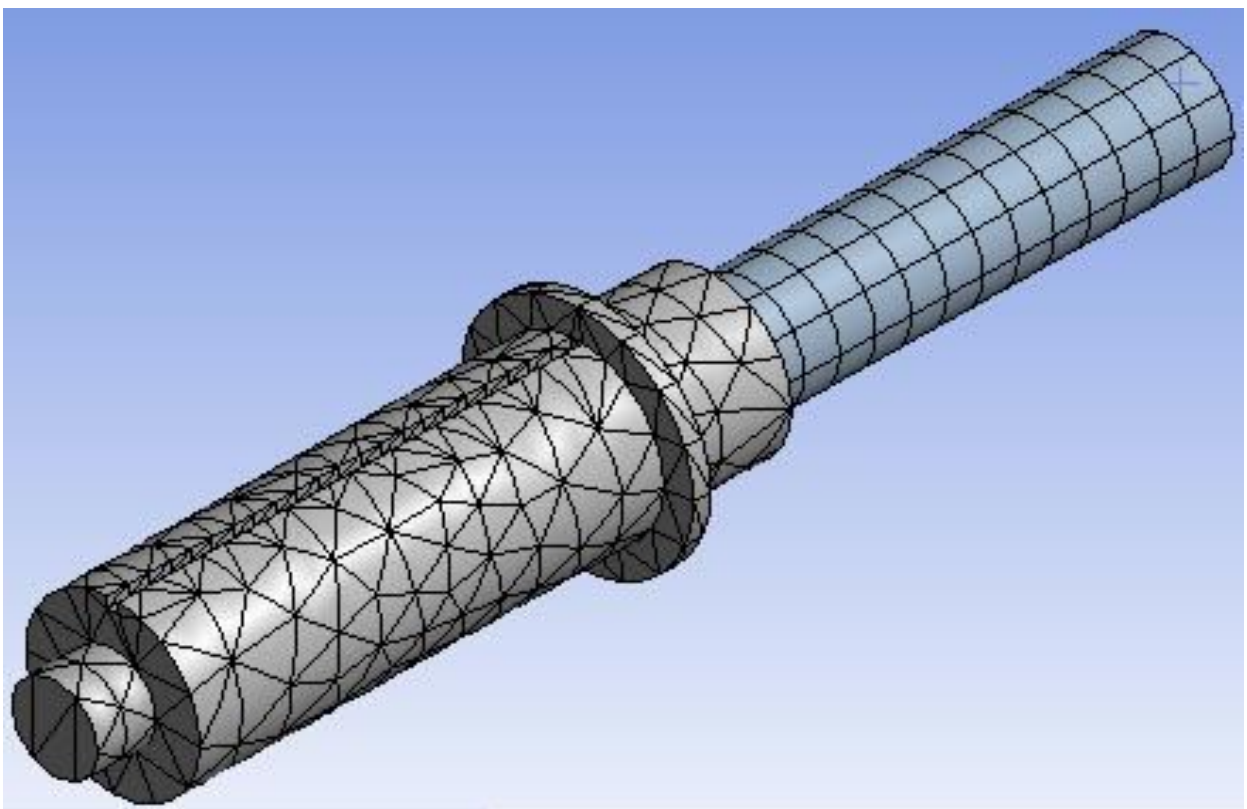


Рис.7.

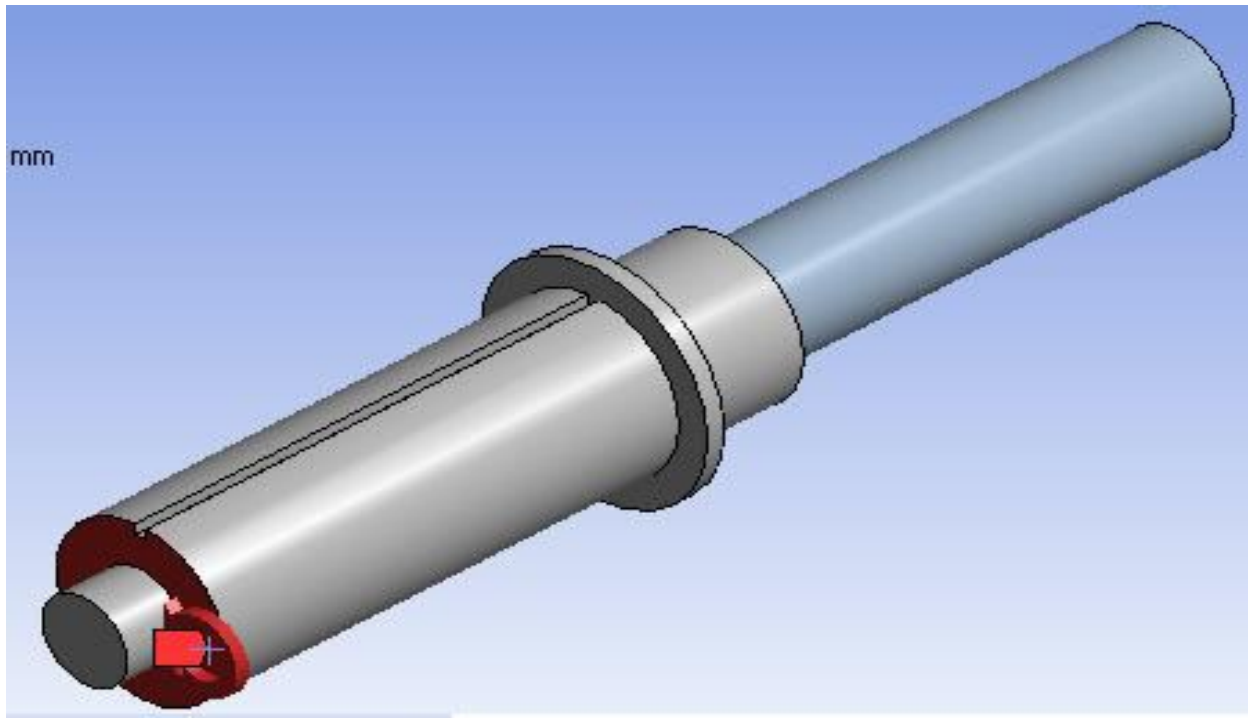


Рис.8.

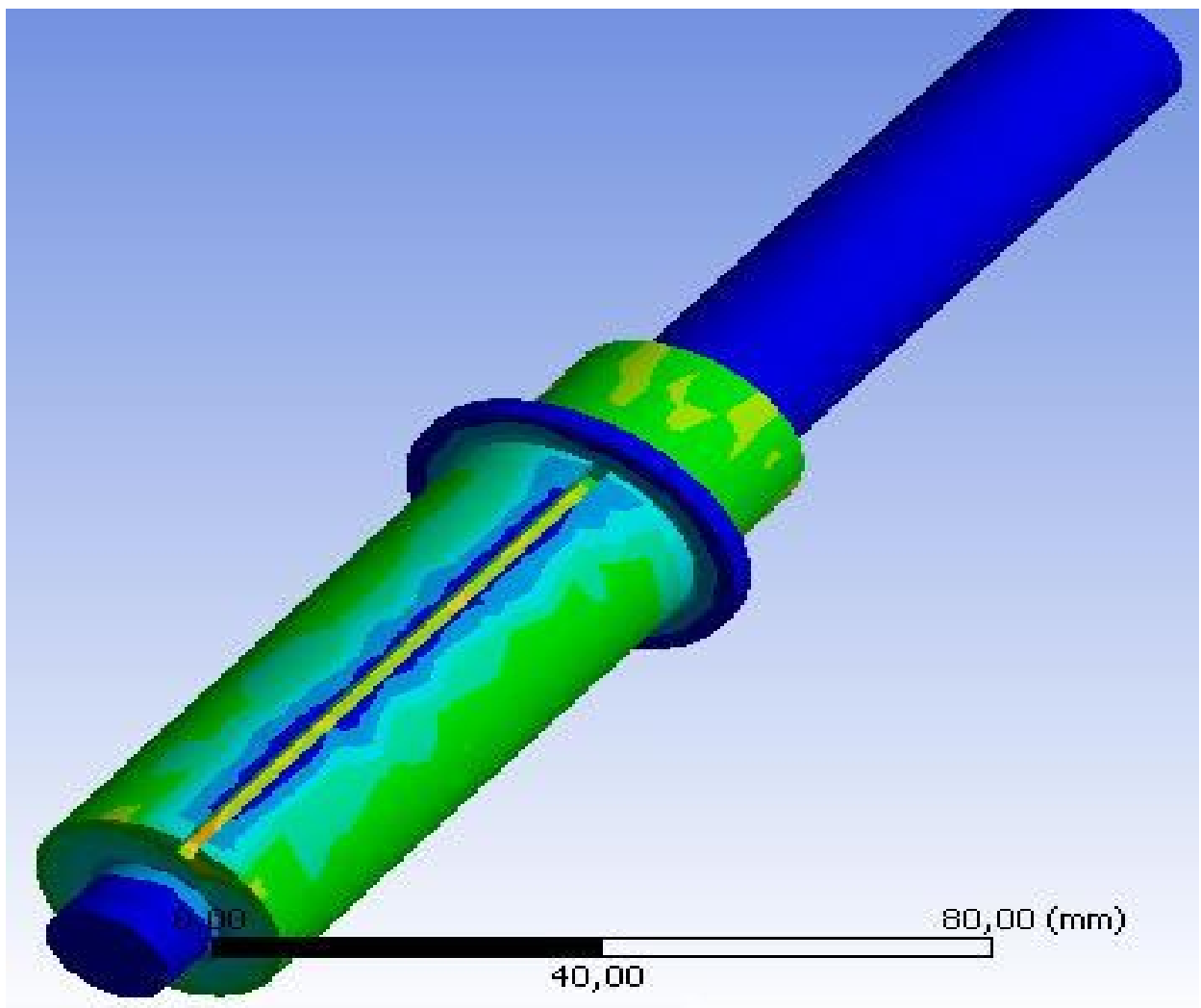


Рис.9.



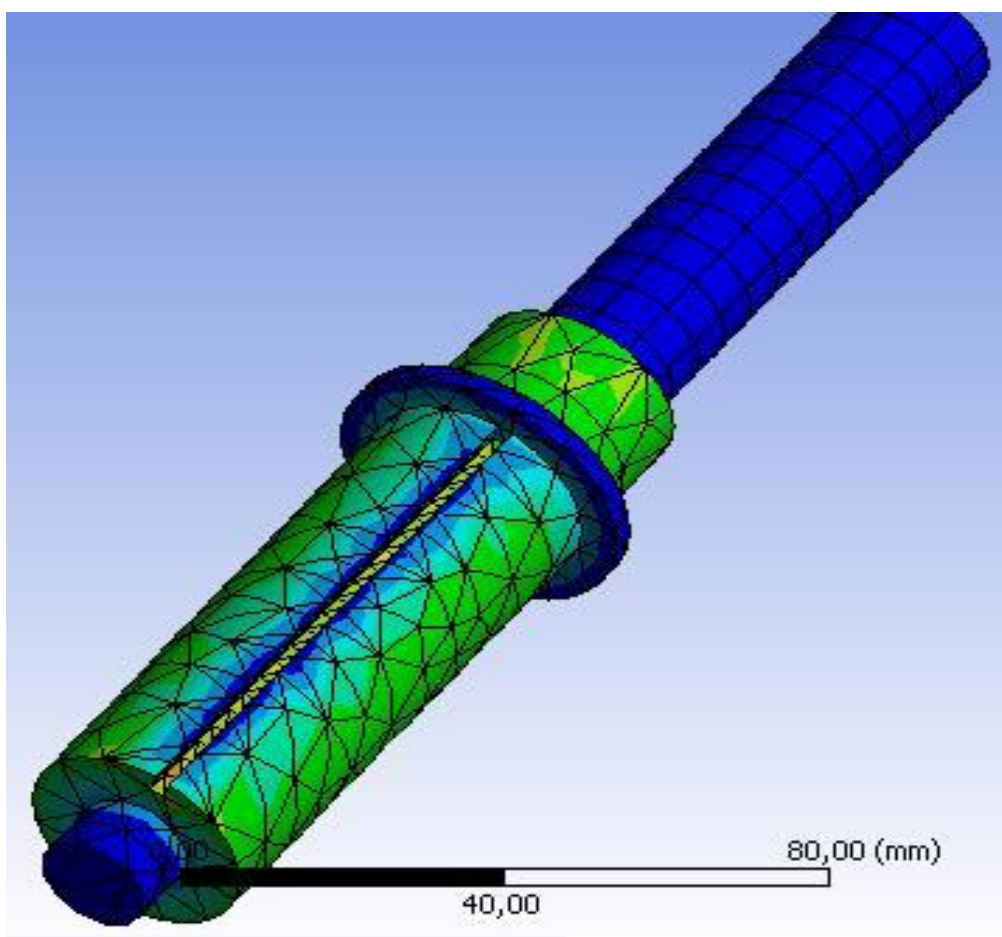


Рис.10.

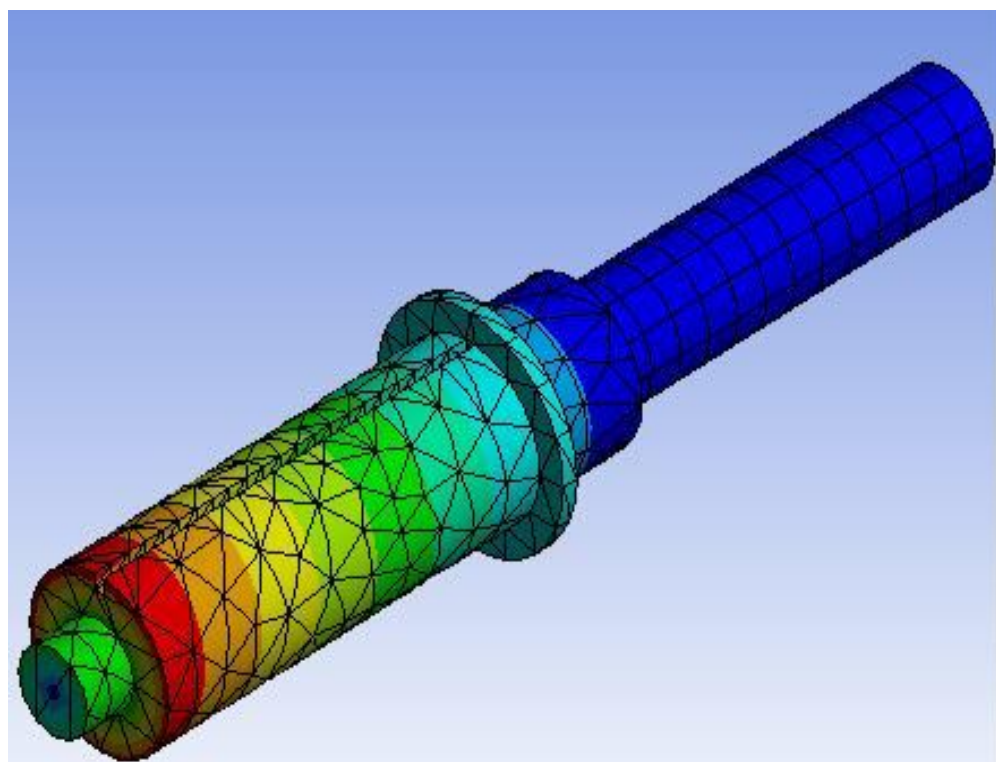


Рис.11.



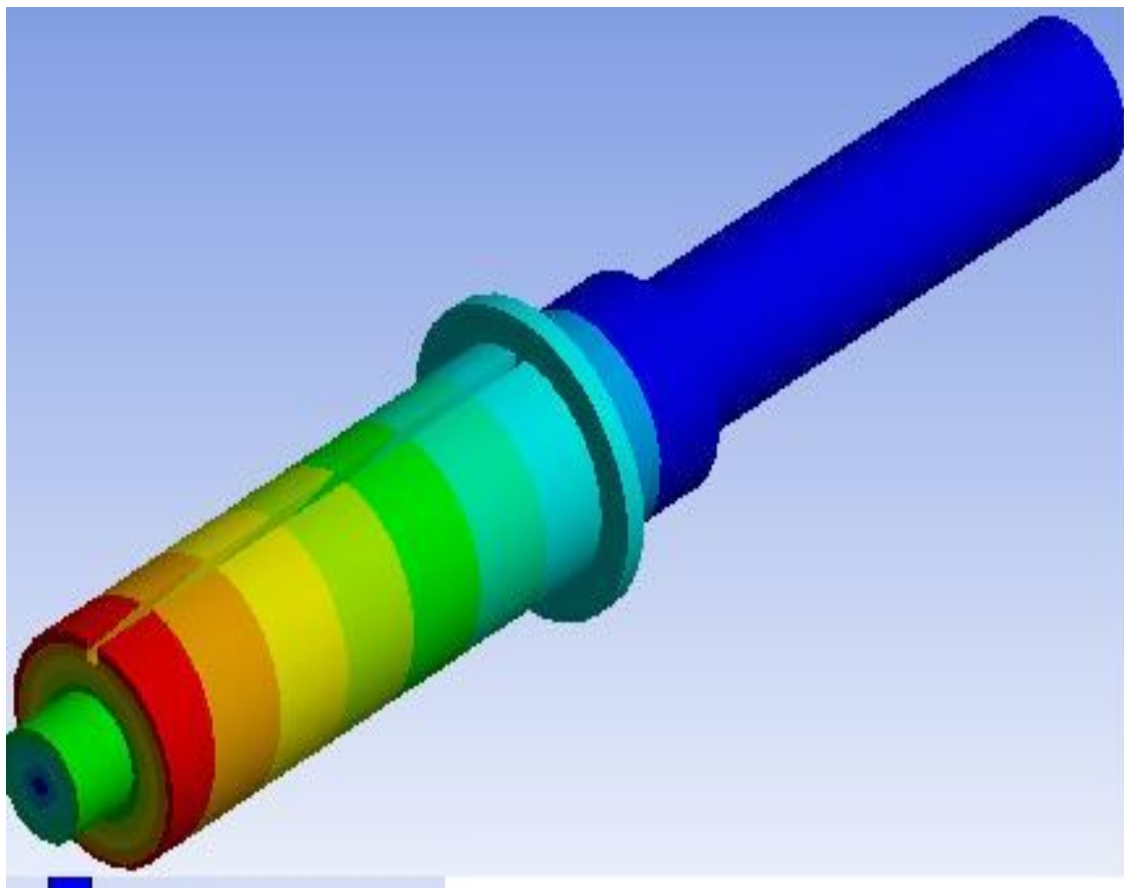


Рис.12.

### Контрольні питання:

1. В яких одиницях в системі СІ вимірюється відстань?
2. Які інструменти призначені для геометричного моделювання в Ansys Workbench?
3. Пояснити, що таке напруження, деформація, закон Гука, Е та яким чином ці характеристики задаються для конкретного матеріалу?
4. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей.?
5. Які пункти меню дозволяють змінювати проєкції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
6. Опишіть контекстне меню Design Modeler при побудові ескізу.
7. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?

## ПОБУДОВА ТВЕРДОТІЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПОРШНЯ ЗАСОБАМИ ANSYS WORKBENCH

*Тема роботи:* набуття практичних навичок побудови геометричної моделі поршня, загальний вигляд якої приведений на рис. 1

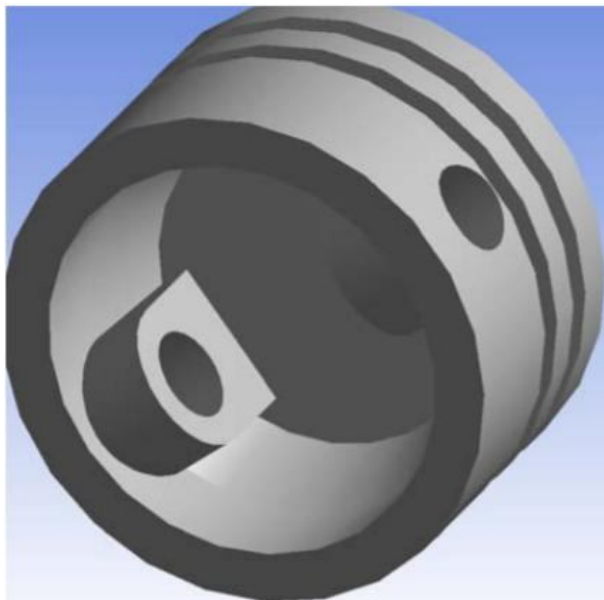


Рис.1 - Загальний вигляд поршня

Вихідні дані для побудови моделі наведені на рисунку 2.

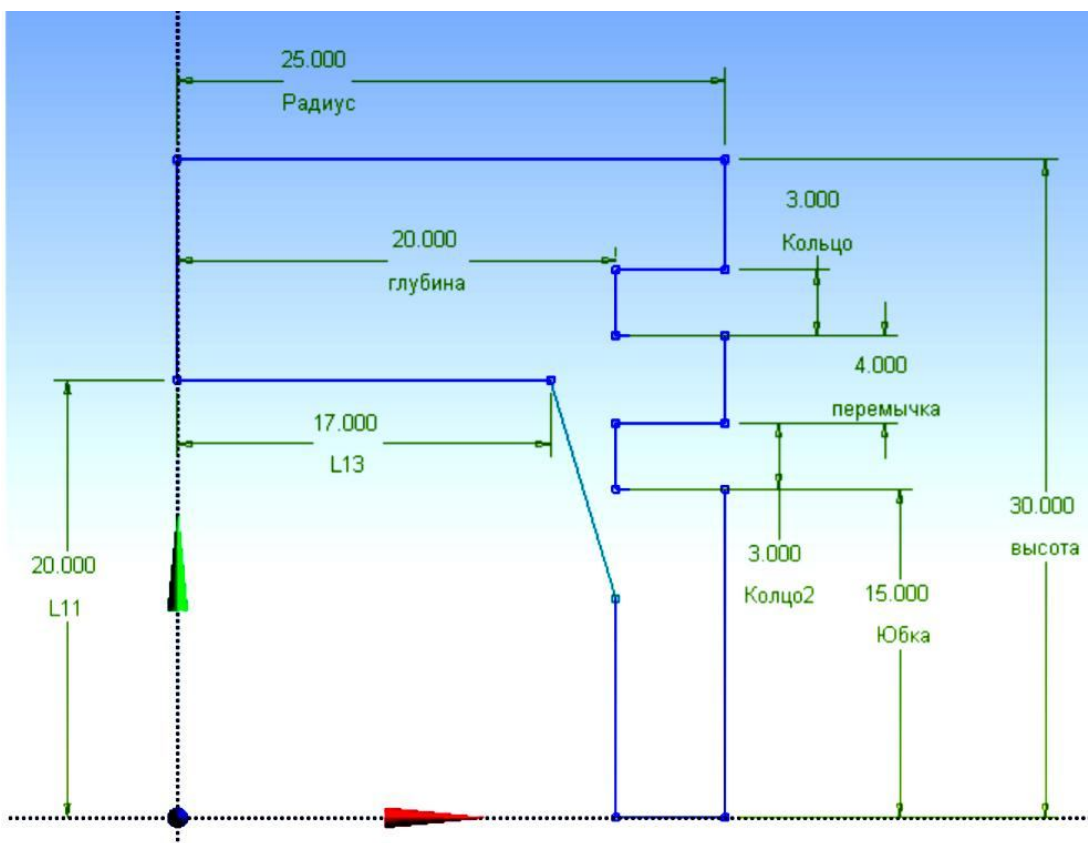


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

## Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;
- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

### Запуск програми.

1. Через стартове меню **ПУСК — ПРОГРАМИ — ANSYS — WORKBENCH**;
2. Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;  
(наприклад, на диску **F:\LabANSYS\_2**);
3. Запуск **Workbench**. Створення нового проекту: вказати робочу директорію та унікальне ім'я файлам.  
**/ПУСК/ ПРОГРАМИ/ ANSYSWORKBENCH/ SAVE AS/**.
4. Вибір типу аналізу.  
**/TOOLBOX/ ANALYSIS SYSTEM/ STATIC STRUCTURAL/** - В цій роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції. При цьому в полі вікна схеми проектів активізується меню даного проекту, яке включає такі позиції:
  - **Engineering Data** – підпрограма вибору механічних властивостей матеріалу;
  - **Geometry** – підпрограма побудови геометричної моделі;
  - **Model** – підпрограма побудови SE-сітки та вибору граничних умов;
  - **Setup and Solution** – задання опцій для процедур розрахунку;
  - **Results** – візуалізація отриманих результатів.

Завантажена платформа має головне меню, панель інструментів (**Toolbox**) та схему проектів (**Project Schematic**).

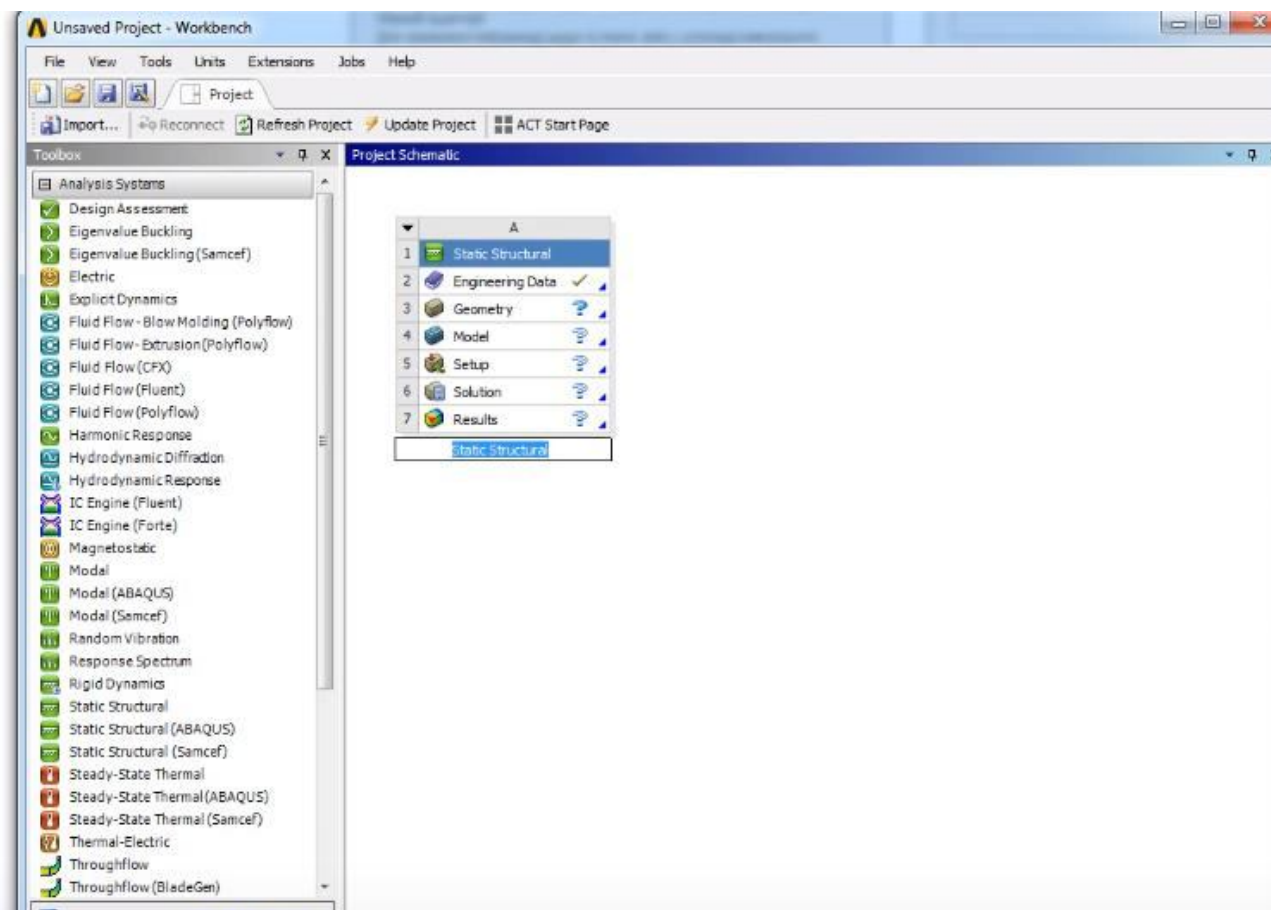


Рис.3 - Загальний вигляд панелі

## 5. Задання механічних характеристик

В вікні *Project Schematic* (рис.4) створюється блок вибору матеріалу деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на

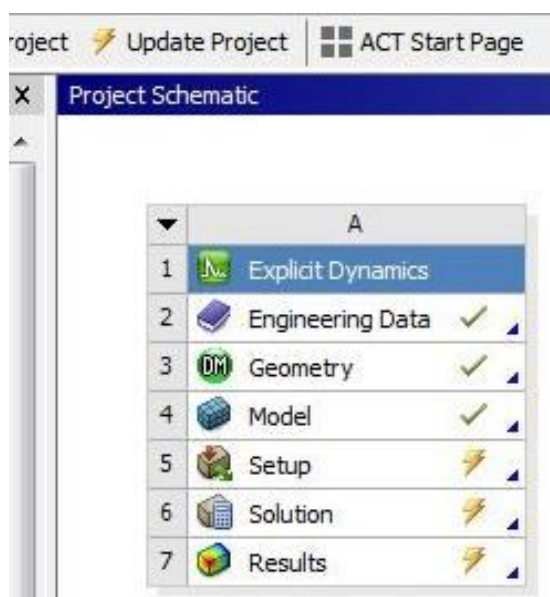
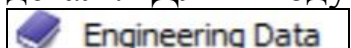


Рис.4 - Вікно Project Schematic

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі),  
або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються  
декілька вікон:

- в першому – бібліотека матеріалів;
- в другому – вибір характеристик конкретного матеріалу;
- в третьому – перегляд заданих у бібліотеці властивостей для обраного матеріалу.


Виберемо в бібліотеці матеріал **Structural Steel**.

Зауваження : якщо вікно аналізу **Engineering Data** приховане, то:

**/MM/ VIEW/ RESET/ WORKSPACE/**.

**/MM/ RETURN TO PROJECT/** - повернення до меню проекту.

## 6. Побудова геометричної моделі.

В вікні *Project Schematic* створюється блок геометрії деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на .

Після чого буде запущено модуль роботи з геометрією *Design Modeler*.

Варто сказати кілька слів про способи управління в графічному вікні програми:

- ЛКМ - відповідає за виділення геометрії;
- СКМ - дозволяє орієнтуватися в просторі і обертати модель;
- ПКМ - дозволяє масштабувати деталь і викликати контекстне меню.

6.1. Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:

**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMENTRY** у спливаючому вікні /.

*Desing Modeler (DM)* включає:

- *Main Menu* – головне меню;
- *Tree Outline* – дерево геометричної моделі;
- *Graphics* – вікно виводу графіки.

Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).

Вибір системи одиниць виміру – систему СІ.

**/MAIN MENU/ UNITS/ METRIC/**.

У вкладці вибрати розміри в мм. **/MM/ UNITS/;**

Поршень буде тілом обертання. Тому першою операцією логічно



виконати операцію обертання.

Далі необхідно буде створити бобишки і інші конструктивні елементи: фаски, камеру згоряння, перемички, вирізи і т.д.

Для створення моделі поршня за допомогою операції обертання необхідно побудувати ескіз. Ескіз буде профілем поршня і віссю обертання

6.2. Розглянемо побудову ескізу поршня.

6.2.1. У дереві моделі ЛКМ **TreeOutline** за робочу площину виберемо **XYPlane**;

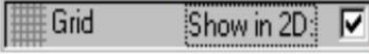
У графічному вікні пунктиром підсвічуються осі X і Y. Щоб перейти в режим редагування ескізу, необхідно вибрати **Sketching** в тому ж вікні. Для ортогональної орієнтації до площини ескізу необхідно вибрати на панелі іконку  або викликати контекстне меню через ПКМ і вибрати  **Look at**, що рівноцінно.

**/mm/ NEWSKETCH/.**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1 (правою)/ LOOK AT FACE/.**


6.2.2. Побудова контуру поршня з розмірами, які задані в вихідних даних:

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ LINE/** 

Для зручності малювання вертикальних і горизонтальних ліній включимо відображення допоміжної сітки за допомогою панелі **Sketching Toolboxes-Settings**, встановивши галочку навпроти **Grid-Show in 2D** 

Під час створення ліній поряд з'являтимуться букви **V** та **H** (прив'язки), що визначають просторове положення лінії в ескізі. Буква **V** показує, що лінія має строго вертикальне положення, а буква **H** визначає горизонтальну лінію. Щоб припинити створення чергової лінії, необхідно натискати **Escape**.

При створенні профілю потрібно часта зміна масштабу. Зручно використовувати локальне масштабування.

За допомогою ПКМ (затиснувши) виділяємо прямокутну ділянку для необхідного збільшення і відпускаємо кнопку. Для повернення до загального вигляду ескізу використовуємо команду в контекстному меню (через ПКМ) **Zoom to Fit** або натискаємо  на головній панелі.

Командами **Line** креслимо контур поршня, показаний на рис. 4.





*Horizontal* або *Vertical* - горизонтальний або вертикальний розмір відповідно;

*Length/Distance* - довжина або відстань між об'єктами ескіза;

*Radius* або *Diameter* — радіальний або діаметральний розмір відповідно.

Відзначимо, що величина розміру може бути змінений у будь-який час у вікні *Details View* або виконанням команди

### SKETCHING TOOLBOXES/DIMENSIONS/EDIT.

Щоб бачити характеристики розміру необхідно виконати команди **SKETCHING/TOOLBOXES/DIMENSIONS/DISPLAY/** і вибрати відображення імені розміру (*Name*) або значення (*Value*).

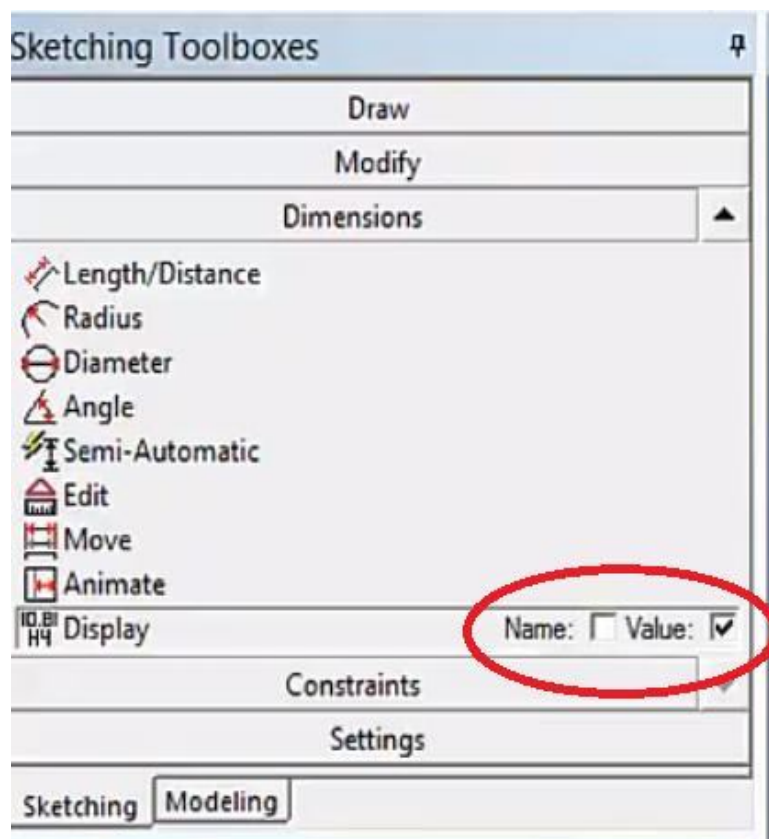


Рис.7 - Характеристики розмірів

Переходимо до меню загального моделювання:

### /TREE OUTLINE/ MODELLING/;

Після того, як був отриманий основний профіль поршня, приступаємо до побудови тривимірної моделі основного тіла.

Для обертання побудованого профілю використовуємо команду «обертання». *Revolve*

### MAIN MENU/REVOLVE/



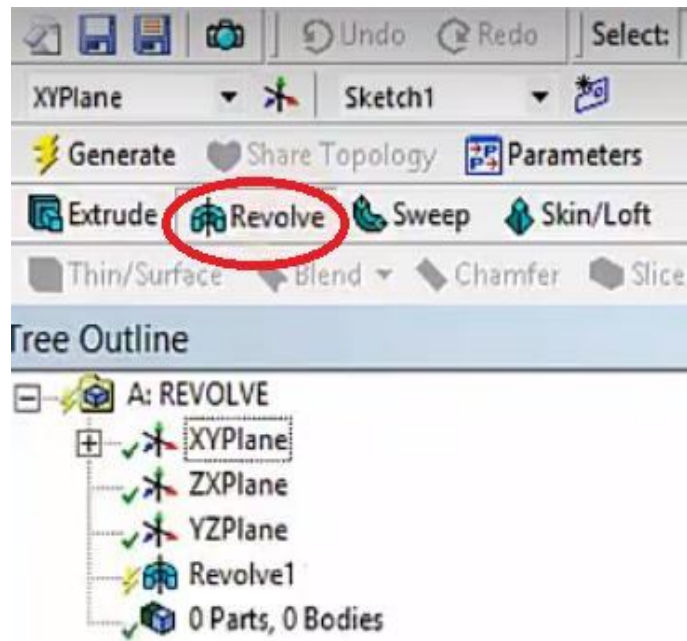


Рис.8 - Команда Revolve

Після вибору якої у вікні *Details View* з'являється вікно налаштувань параметрів операції обертання (рис.9).

В якості базового об'єкта вкажемо створений раніше ескіз. Віссю обертання буде вісь *Y*.

**AXIS** (клік вісь *Y*)/**APPLY**/

Кут обертання 360°

Напрямок –Normal

Всі інші параметри можна залишити тими-ж самими «за умовчанням».

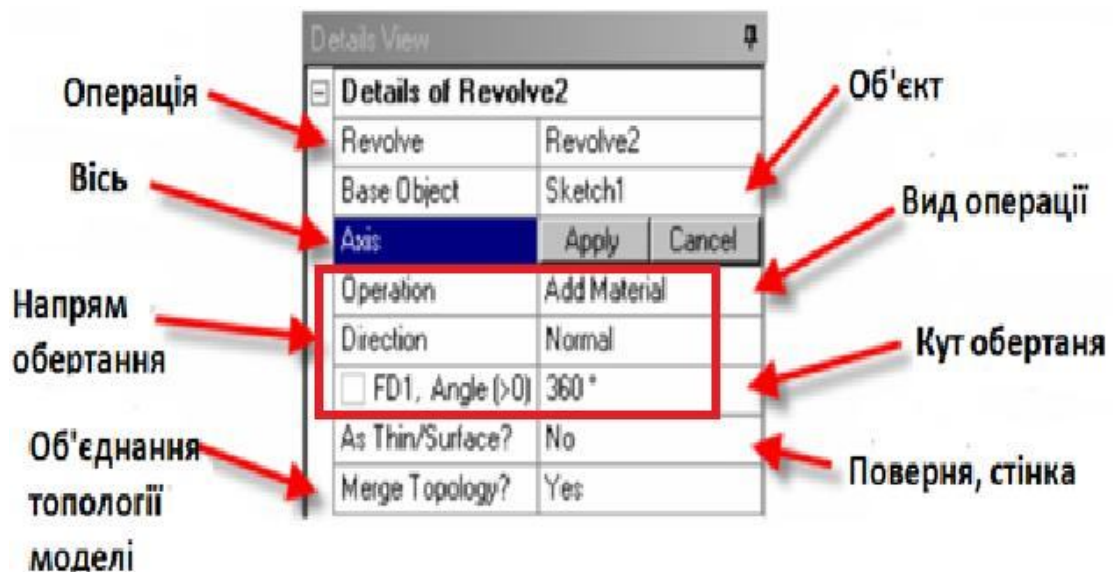
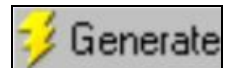


Рис.9 - Налаштування операції обертання

/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі



Після виконання команди *Revolve* буде отримана деталь, яка зображена на рис.10.

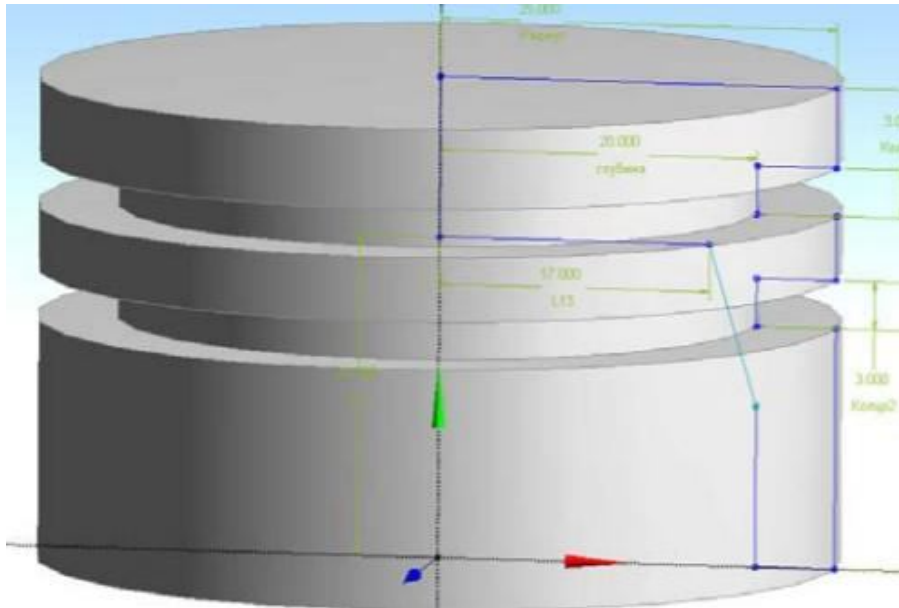


Рис.10 - Результат виконання операції *Revolve*

Наступним етапом створення тривимірної твердотільної моделі поршня є побудова бобишек.

Спершу необхідно побудувати площину, в якій буде побудована бобишка. Ця площина буде зміщена відносно попередньої на деяку величину в напрямку осі Z. Ця величина конструктивна. В нашому випадку зміщення 12 мм.


NEW PLANE (  ). З'являється вікно *Details of plane5*.

Details of Plane5	
Plane	Plane5
Type	From Plane
Base Plane	XYPlane
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

Рис.11 - Налаштування вікна при створенні нової площини

*Поступально переміщуємо систему координат вздовж осі Z.*

**DETAILS OF PLANE5/ TRANSFORM1/OFFSET Z(ПКМ)/  
VALUE/12MM/ GENERATE/**

На побудованій площині створюємо ескіз, натиснувши ЛКМ іконку нового ескізу  на головній панелі.

Побудова ескізу аналогічно побудові ескізу в операції обертання.

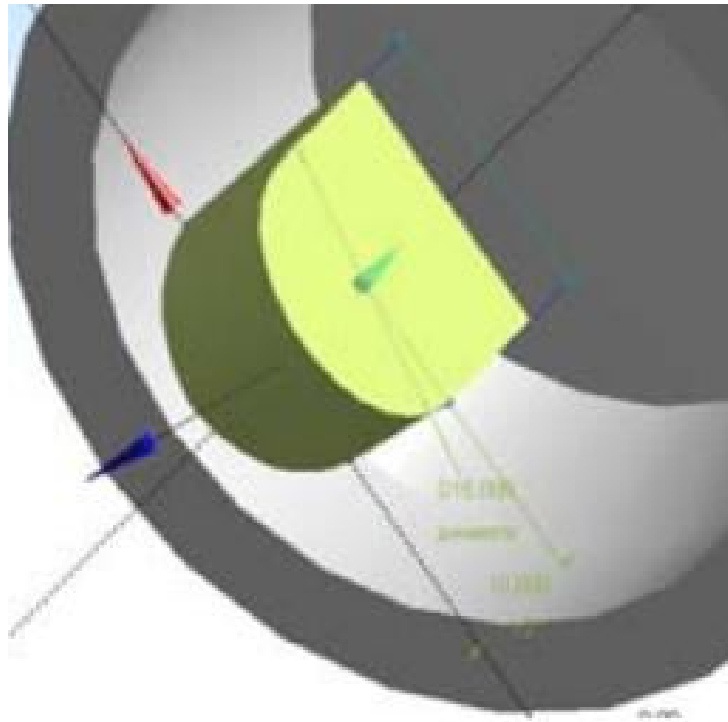



Рис.12 - Ескіз бобишки

**/mm/ NEWSKETCH/;**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1NG/ DRAW/**

На панелі меню вибираємо кнопку *Extrude*  для видовження побудованого ескізу, при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (*Add Frozen*). У вікні **DV** задаємо його точну довжину.

Для пункту *Extent Type*, значення якого за допомогою ЛКМ встановлюємо - *To Next*, і пункту *Operation*, значення якого встановлюємо *Add Frozen*. Після виконання операції буде створено 2 різних тіла.

**/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.**

Далі необхідно отримати дзеркальну копію побудованої бобишки щодо площині *XYPlane*. Для цього скористаємося командою *Pattern*.

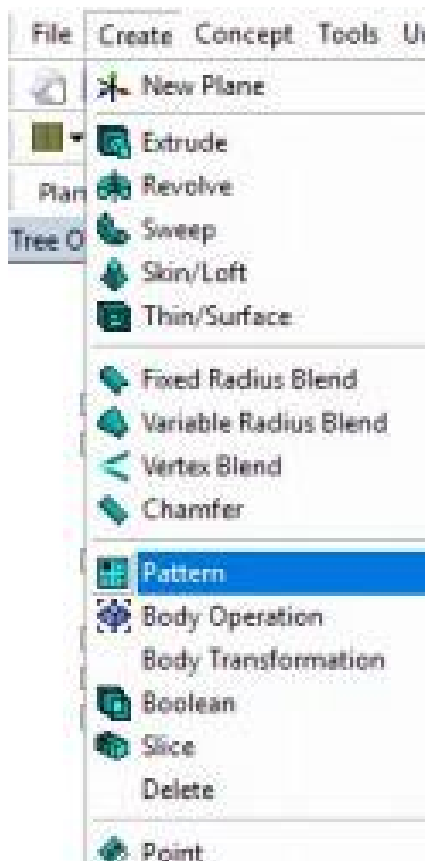


Рис.13 - Команда Pattern.

Налаштування команди здійснимо згідно рис. 14.

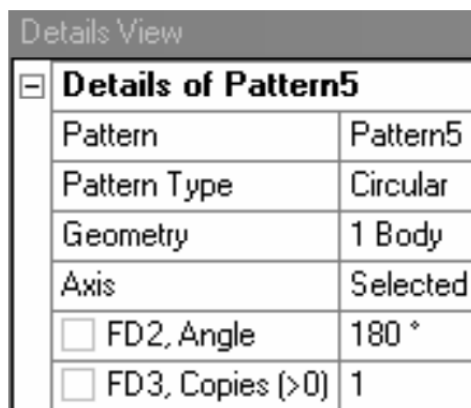


Рисунок 14. Налаштування вікна копіювання бобишки

**/GENERATE/** - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.

Після виконання команди будуть отримані 3 тіла. Тепер необхідно здійснити поєднання цих трьох тіл в одне тіло, для чого скористаємося

командою булевої операції  **Boolean**. Для виконання команди необхідно з затиснутою клавішею CTRL виділити три тіла.

**/CREATE/ BOOLEAN/ GENERATE/**.

У вікні **Tree Outline** повинно бути одне тверде тіло (рис. 15).

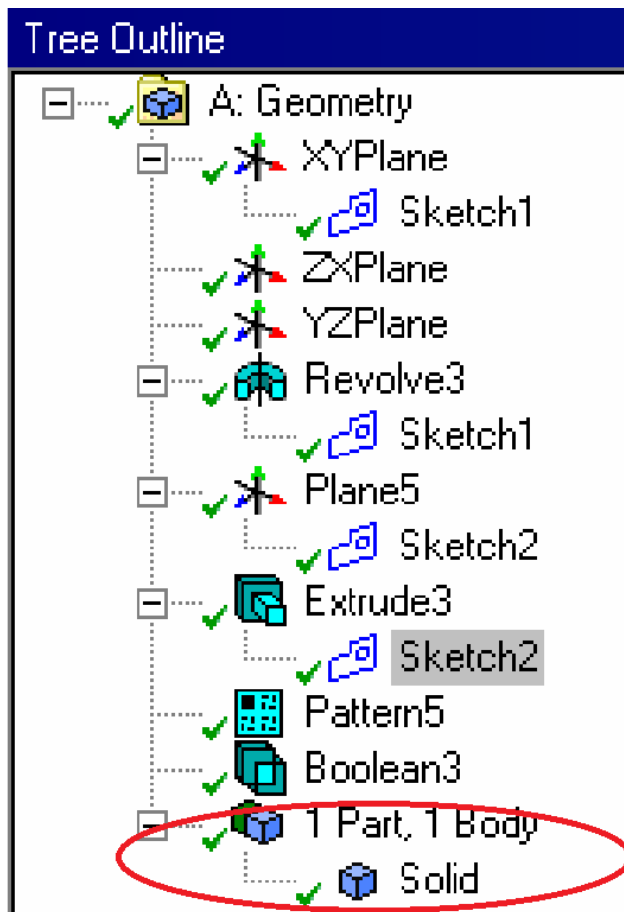


Рис.15 - Вид вікна проекту після об'єднання частин

Побудована модель поршня не містить отвір під поршневий палець. Для побудови отвору під поршневий палець використовується вже знайома команда *Extrude*.

*Будуємо коло в площині XYPlane.*

**/TREE OUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CIRCLE/** - далі задаємо точні розміри кола та його положення .

*Переходимо до меню загального моделювання :*

**/TREE OUTLINE/ MODELLING/;**

*Будуємо отвір у попередній тривимірній моделі шляхом екструзії Sketch2.*

**/mm/ EXTRUDE/** . При цьому потрібно задати опції вирізання (Cut) матеріалу із існуючої заготовки:

**/DETAILS VIEW/ OPERATION/ CUTMATERIAL/.**

**/DIRECTION/BOTH/SYMMETRIC/EXTENT TYPE/THROUGH ALL/**

*Запоминаємо всі проведені побудови:*

**/mm/ GENERATE/.**

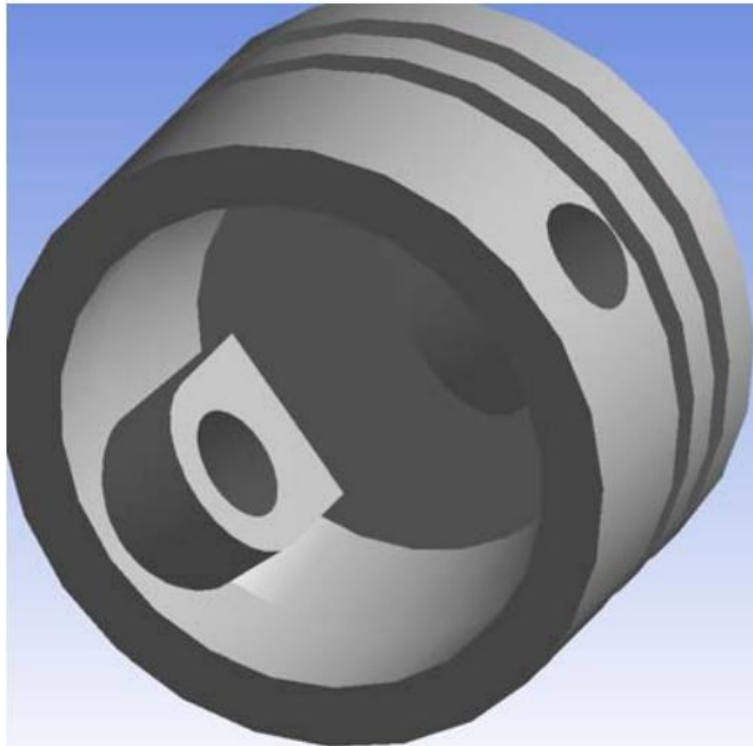



Рисунок 16. Побудована модель поршня

Для виконання операції фаски вибираємо в головному вікні команду  Chamfer

**/MAIN MENU/ CHAMFER/**


**Вибираємо, натиснувши клавішу Ctrl два нижніх ребра поршня, що знаходяться на юбці**

**/DETAILS VIEW/GEOMETRY/APPLY.**

**TYPE /LEFT-ANGLE.**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

Для виконання операції округлення вибираємо в головному вікні команду  Blend. Для цього служить команда, яка дозволяє вибрати як постійний радіус округлення **Fixed Radius Blend**, так і змінний - **Variable Radius Blend**.

**MAIN MENU/BLEND/**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

**/SAVE/ - готового проекту.**

**По ходу виконання проекту для формування звіту потрібно зберегти у файлах копії поточних рисунків.**

## Результати

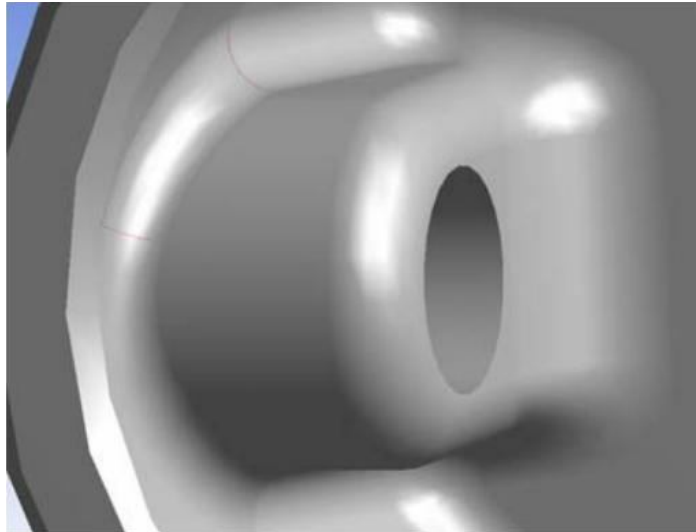


Рис.17 - Вид на внутрішню частину поршня після застосування операцій округлення і фаски

### Контрольні питання:

1. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей?
2. Які пункти меню дозволяють змінювати проекції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
3. Опишіть контекстне меню **Design Modeler** при побудові ескізу.
4. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?
5. За допомогою яких команд можливо набудувати **СЕМ** в програмному середовищі **Ansys Workbench**?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство пользователя ANSYS. Краткий курс Краткое описание основ в Ansys. -26 с.
2. Бруяка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. - Учебное пособие. - Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2010. - 271 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах Под общ. ред. Д. Г. Красковского. - М: КомпьютерПресс, 2002. -224 с: ил.
4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя М.: ДМК Пресс, 2005. - 640 с.: ил.
5. Огородникова О. М. Компьютерный инженерный анализ в среде ANSYS Workbench [Электронный ресурс] // Екатеринбург: Техноцентр компьютерного инжиниринга УрФУ. 2018. 350 с.
6. Глинкин С. А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / С. А. Глинкин; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 107 с



## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Моделювання НДС вала трансмісії зі шліцами.....	4
Побудова твердотільної моделі поршня засобами ANSYS WORKBENCH.....	12
Література .....	26

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки  
до проведення практичних занять

**Укладачі:**

**ГРИЩЕНКО** Володимир Миколайович,  
**СВІРГУН** Ольга Анатоліївна  
**КАЛІНІН** Євген Іванович,  
**САВЧЕНКО** Володимир Борисович,

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Умов. друк. арк. 1,63  
Наклад 100 примірників.

---

Віддруковано у друкарні ФОП Заночкин Д.Л.  
м. Харків, вул.Плеханівська, 16.  
Зам. 0305/2019. тел. 757-93-82.



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу  
Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича**

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

**Методичні вказівки до проведення практичних занять**

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Харків  
2019

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки до проведення практичних занять

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради ННІ ТС ХНТУСГ  
Протокол №7  
від 10 травня 2019р

Харків  
2019

**УДК 004.94**  
**Р 64**

Схвалено на засіданні  
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича  
Протокол №8 від "08" травня 2019 р.

Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ: метод. вказівки до проведення практичних занять для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч., спец. 133 Галузеве машинобудування / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: В.М.Грищенко, О.А.Свіргун, Є.І.Калінін, В.Б.Савченко,. - Харків : [б. в.], 2019. - 28с.

Методичні вказівки " Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ " розроблено з метою надання практичних навичок студентами під час виконання ними практичних завдань з відповідної дисципліни. Видання включає приклади вирішення задач з необхідними практичними поясненнями. Методичні вказівки містять також контрольні питання, які можуть бути використані в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

**Рецензенти:**

**Д. Б. Глушкова**, докт. техн. наук, проф., зав. кафедри технології металів та матеріалознавства ХНАДУ.

**С. О. Поляшенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Відповідальний за випуск (зав.каф.)** : В. Г. Кухтов, д-р. техн. наук, проф.

© В.М.Грищенко, О.А.Свіргун,  
Є.І.Калінін,В.Б.Савченко,  
ХНТУСГ, 2019

## ВСТУП

ANSYS - універсальна програмна система скінчено-елементного (МСЕ) аналізу, яка існує та розвивається на протязі останніх 30 років в сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) і СЕ рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестационарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестационарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування - виготовлення - випробування». ANSYS - пакет програм для комп'ютерного інженерного аналізу методом скінчених елементів, який охоплює багато напрямків розрахункового обґрунтування (механіка, гідродинаміка, електротехніка, електроніка і т.д.) і може виконувати багатодисциплінарні розрахунки.

В результаті виконання практичних робіт студент повинен навчитись на початковому рівні користуватися CAD/CAE системами. Засвоїти принципи роботи в CAD/CAE системах для розробки інженерних проєктів, послідовність роботи в CAD/CAE системах

## МОДЕЛЮВАННЯ НДС ВАЛА ТРАНСМІСІЇ ЗІ ШЛІЦАМИ

**Тема роботи:** Моделювання напружено-деформованого стану вала трансмісії з використанням типу аналізу **Static Structural** – аналізу статичної міцності в **Ansys Workbench**. Загальний вигляд вала та вихідні дані представлені на рис. 1, 2. Розглянути варіанти різної кількості шліцевих канавок.

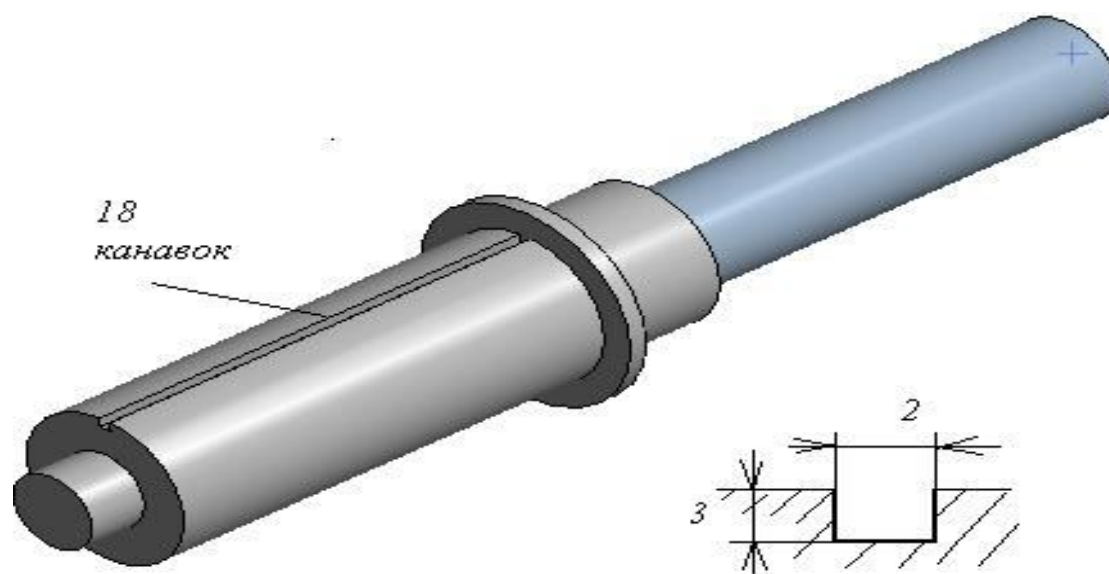


Рис.1 - Загальний вигляд вала.

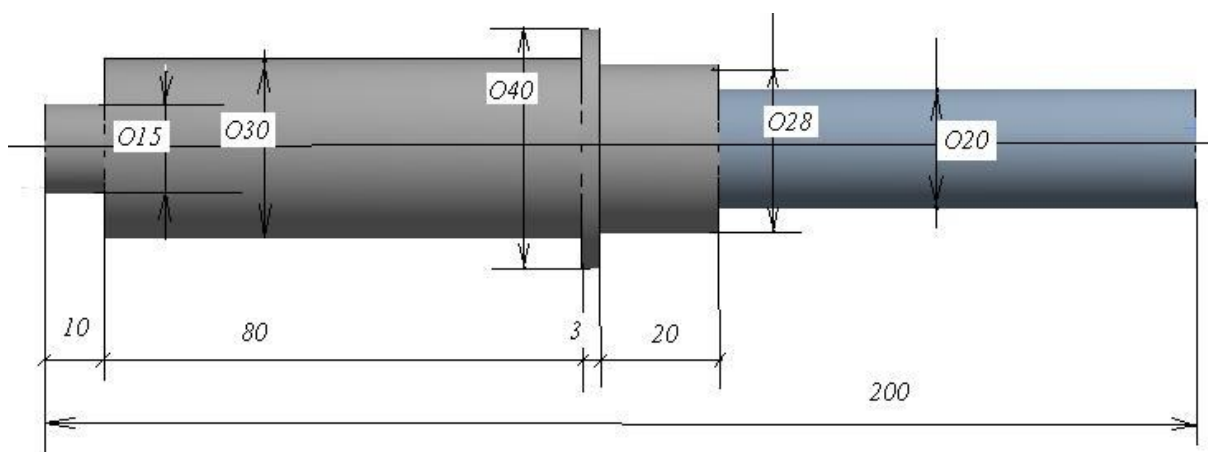


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

### Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;

- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

## **1. Підготовка проекту .**

- 1.1. *Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;*
- 1.2. *Запуск Workbench;*
- 1.3. *Вибрати систему одиниць виміру – систему SI;*
- 1.4. *Вибір типу аналізу. В даній роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції - **STATIC STRUCTURAL**.*

## **2. Задання механічних характеристик**

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі), або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- *в першому, де знаходиться бібліотека матеріалів, задано по умовчужанню матеріал *Structural Steel*. Поряд з ним натискаємо у вікні ‘Click here to ’ та прописуємо матеріал користувача, наприклад: *Zalizo*.*
- *А в другому вікні –задаємо для нього відповідні характеристики, що потрібні в даному розрахунку та інші матеріали.*

**/mm/ Return to Project/** - повернення до меню проекту.

## **3. Побудова геометричної моделі.**

- 3.1. *Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:*  
**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMETRY** у спливаючому вікні /.
- 3.2. *У вкладці вибрати розміри в мм.*  
**/mm/ UNITS/**; Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).
- 3.3. *Розглянемо побудову ескізу вала.*
  - 3.3.1. *У дереві моделі *TreeOutline* за робочу площину виберемо *XYPlane*;*
  - 3.3.2. *Побудова циліндра, що моделює носок вала:*  
**/mm/ NEWSKETCH/**;  
**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CICLE/** ;
  - 3.3.3. *Виставляємо виноска розмірностей та видовжуємо переріз:*



**/SKETCHING/ DIMENSIONS/ GENERAL/;**

**/mm/ EXTRUDE/** - з необхідними опціями;

**/mm/ GENERATE/**.

3.3.4. *Таким же чином будемо створювати циліндричну поверхню шліцьової частини, але перед цим поступально переміщуємо систему координат на початок цього валу ( вздовж від'ємної осі Z).*

**/mm/ NEW PLANE/** та задаємо необхідні опції;

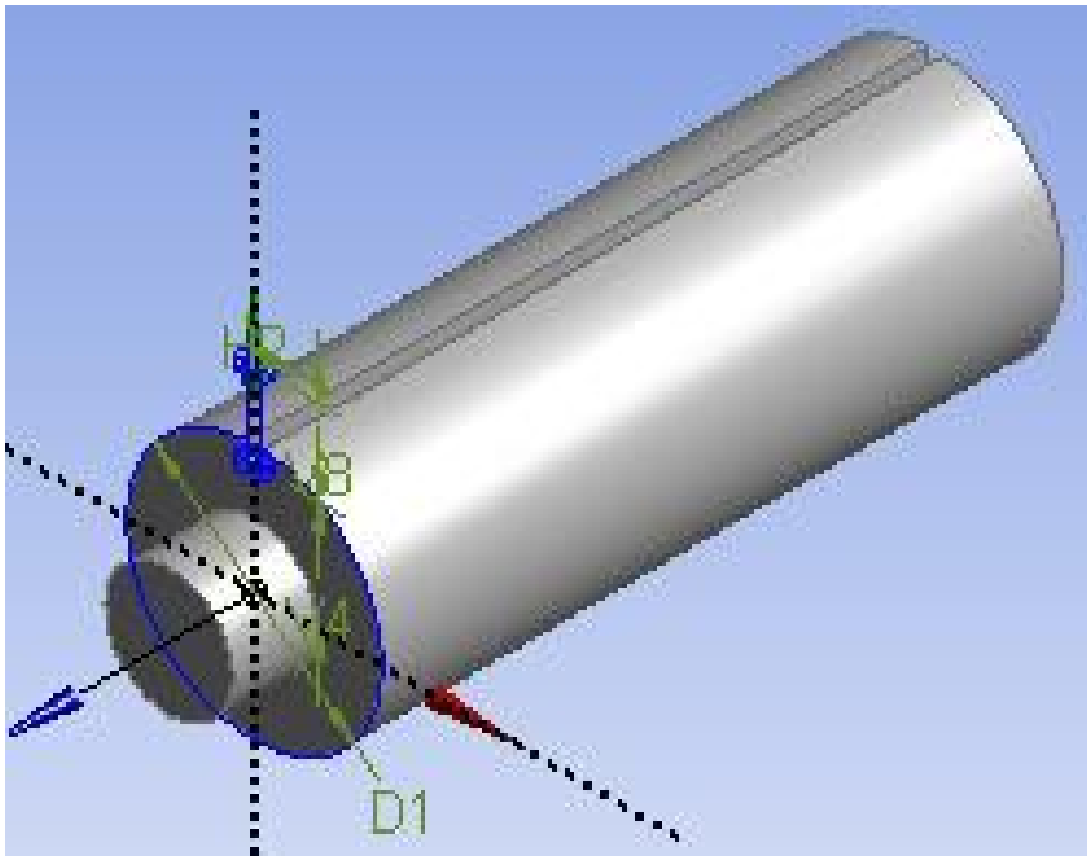


Рис.3 - Шліцьова частина.

3.3.5. *Надалі будемо створювати ескіз перерізу одного шліця та видовжуємо в обидві сторони*

**/mm/EXTRUDE/** при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (Add Frozen), та видовжують шліць симетрично в обидва боки (Both Symmetric).

**/mm/ GENERATE/** (рис. 4).

3.3.6. *Тепер з допомогою булевих операцій видаляємо з матеріалу вала матеріал шліця.*

**/mm/ CREATE/ BOOLEAN/** при цьому обрати **Subtract** в меню **Details**.

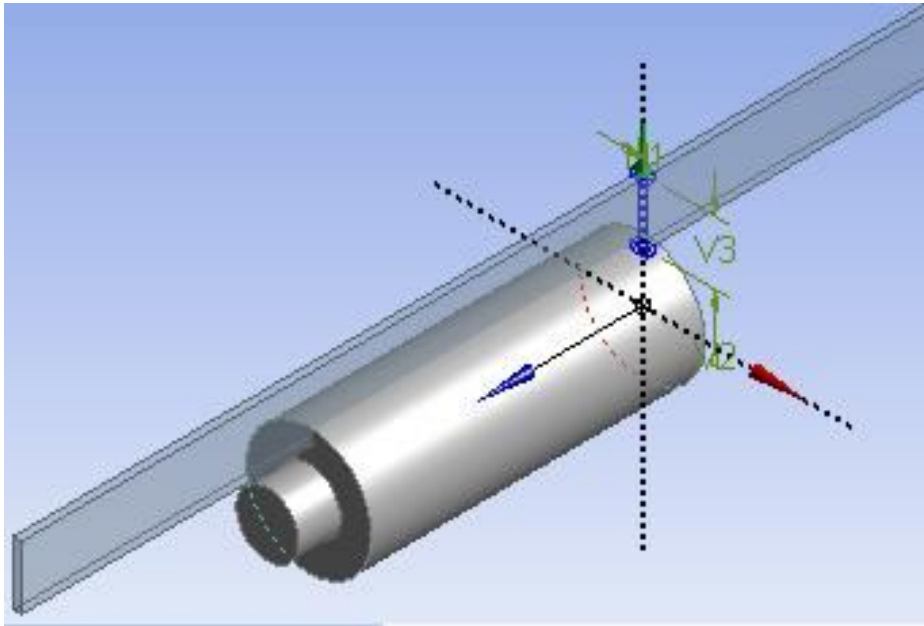


Рис.4.

3.3.7. *Надалі моделюванню підлягають циліндричні частини вала трансмісії, в якому повторюються попередні операції. Особливу увагу при цьому потрібно звернути лише на своєчасний лінійний переніс системи координат вздовж від'ємної частини осі Z, та моделювання хвостовика вала як окремого об'єкту-body (Add Frozen). Це потрібно для того, щоб продемонструвати як задаються різним частинам конструкції різні характеристики матеріалів.*

### Результати

Рисунки (5-12) демонструють результати подальшого моделювання.

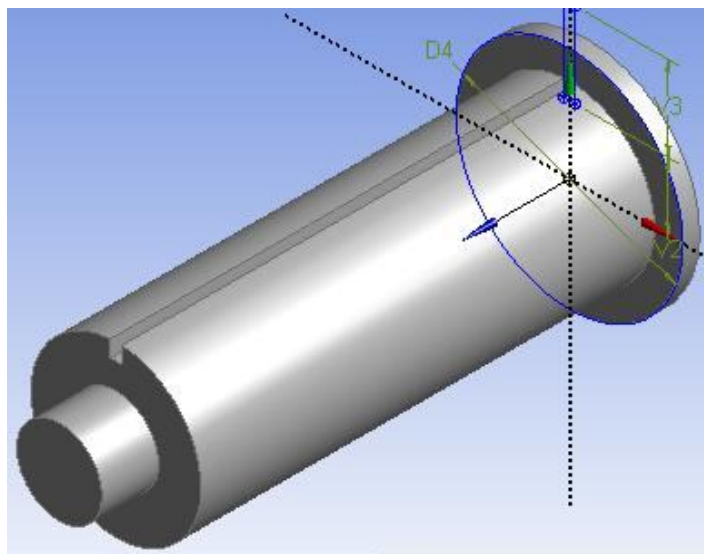


Рис.5.

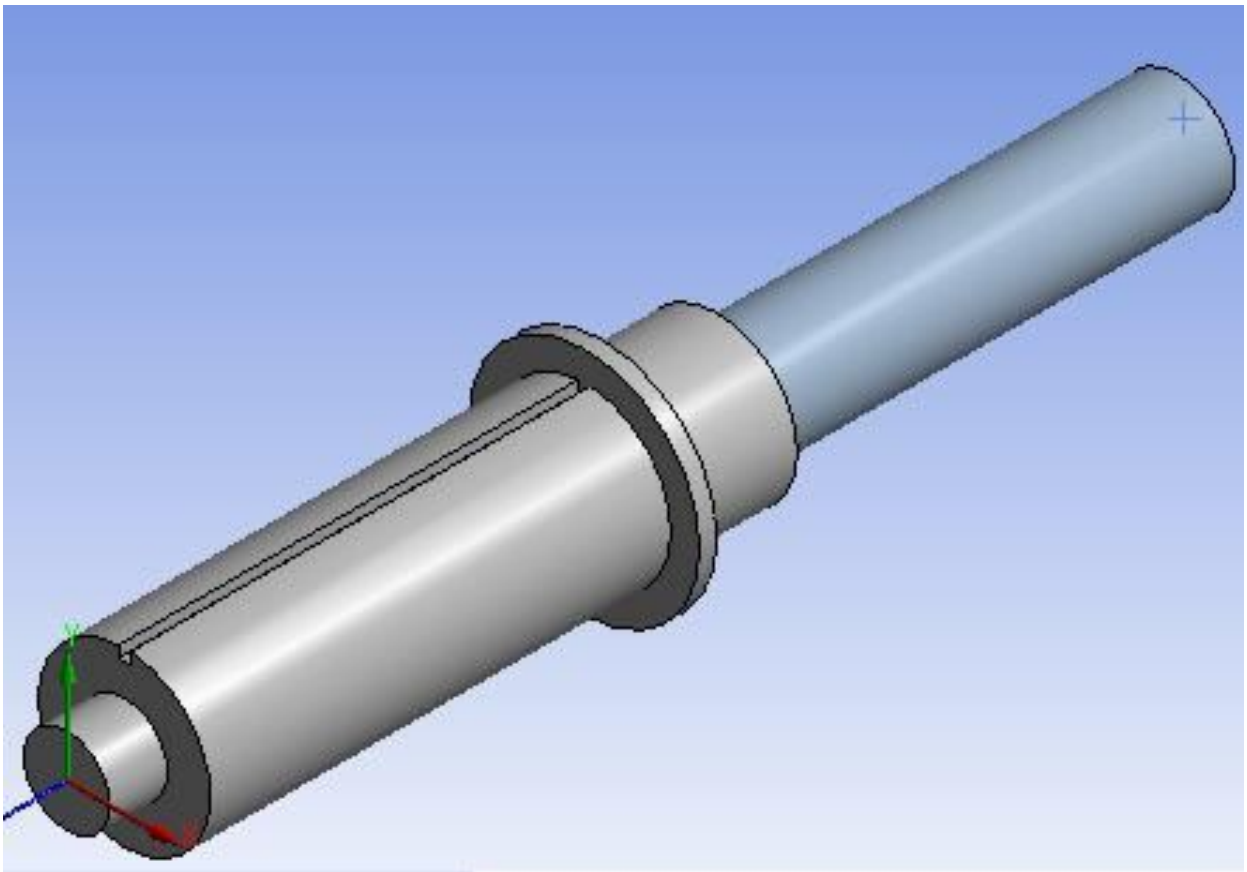


Рис.6.

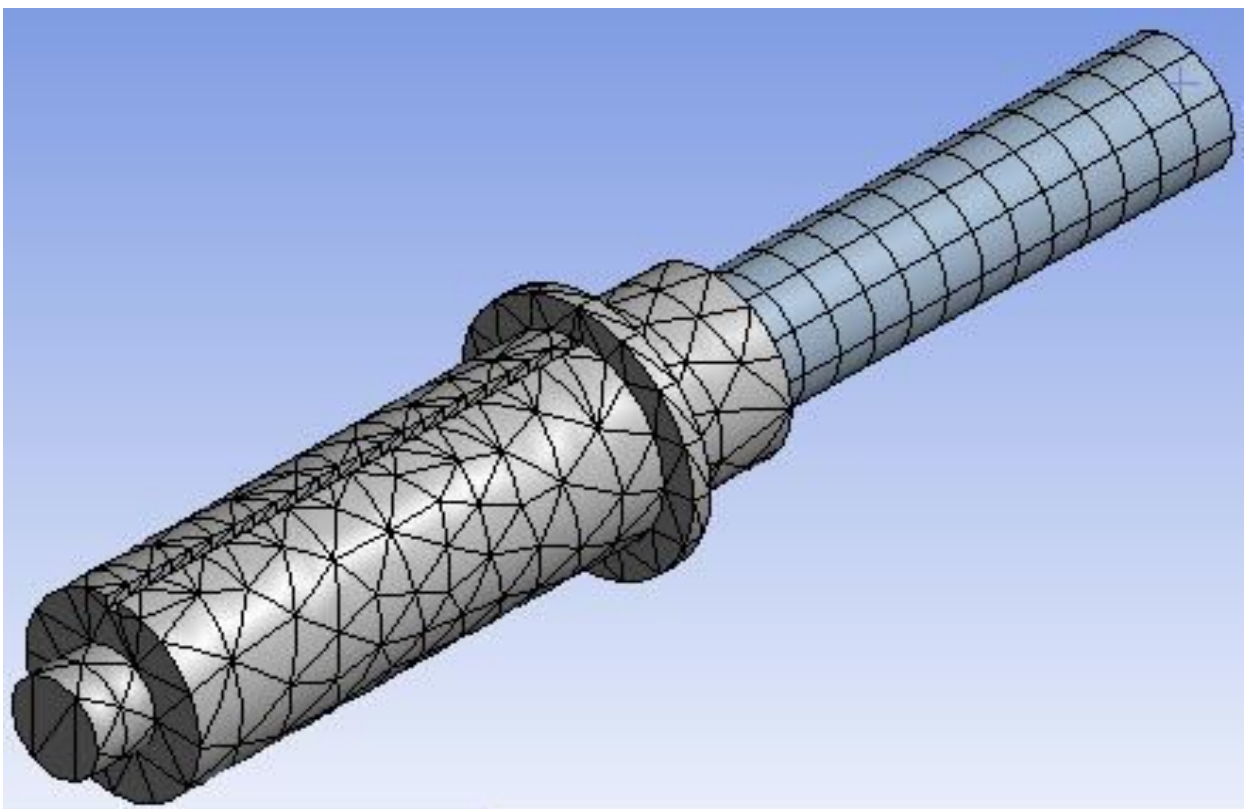


Рис.7.

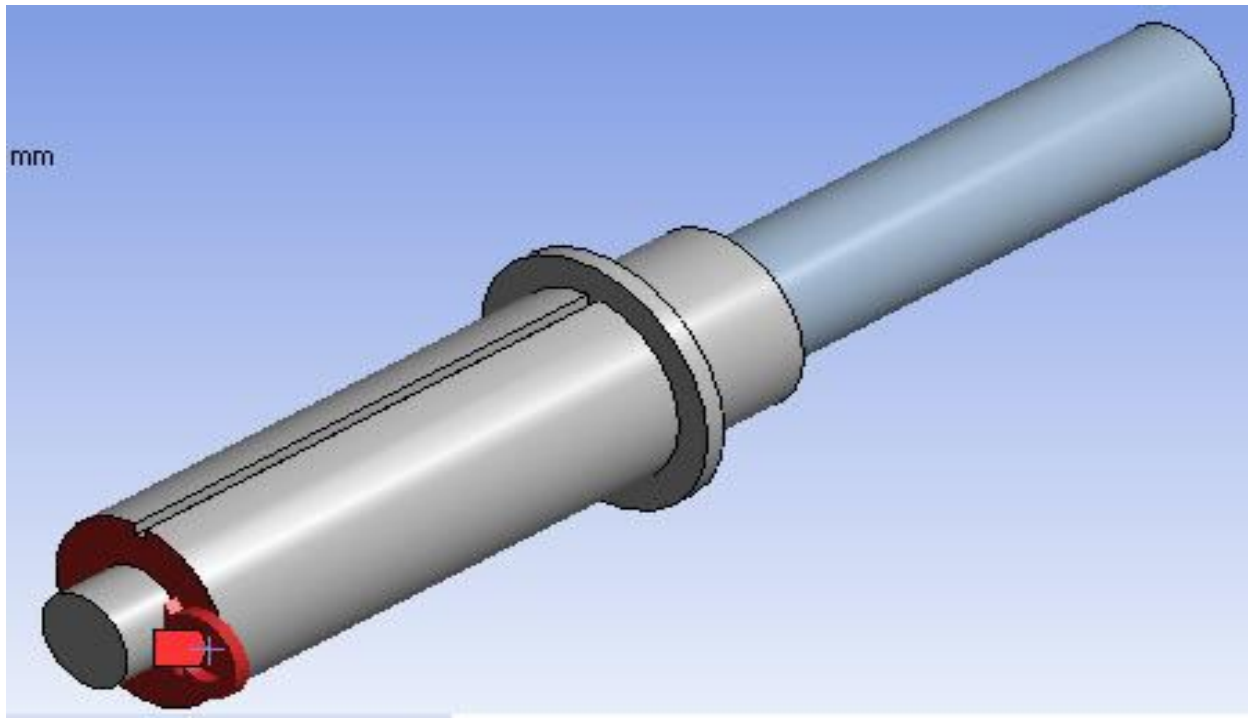


Рис.8.

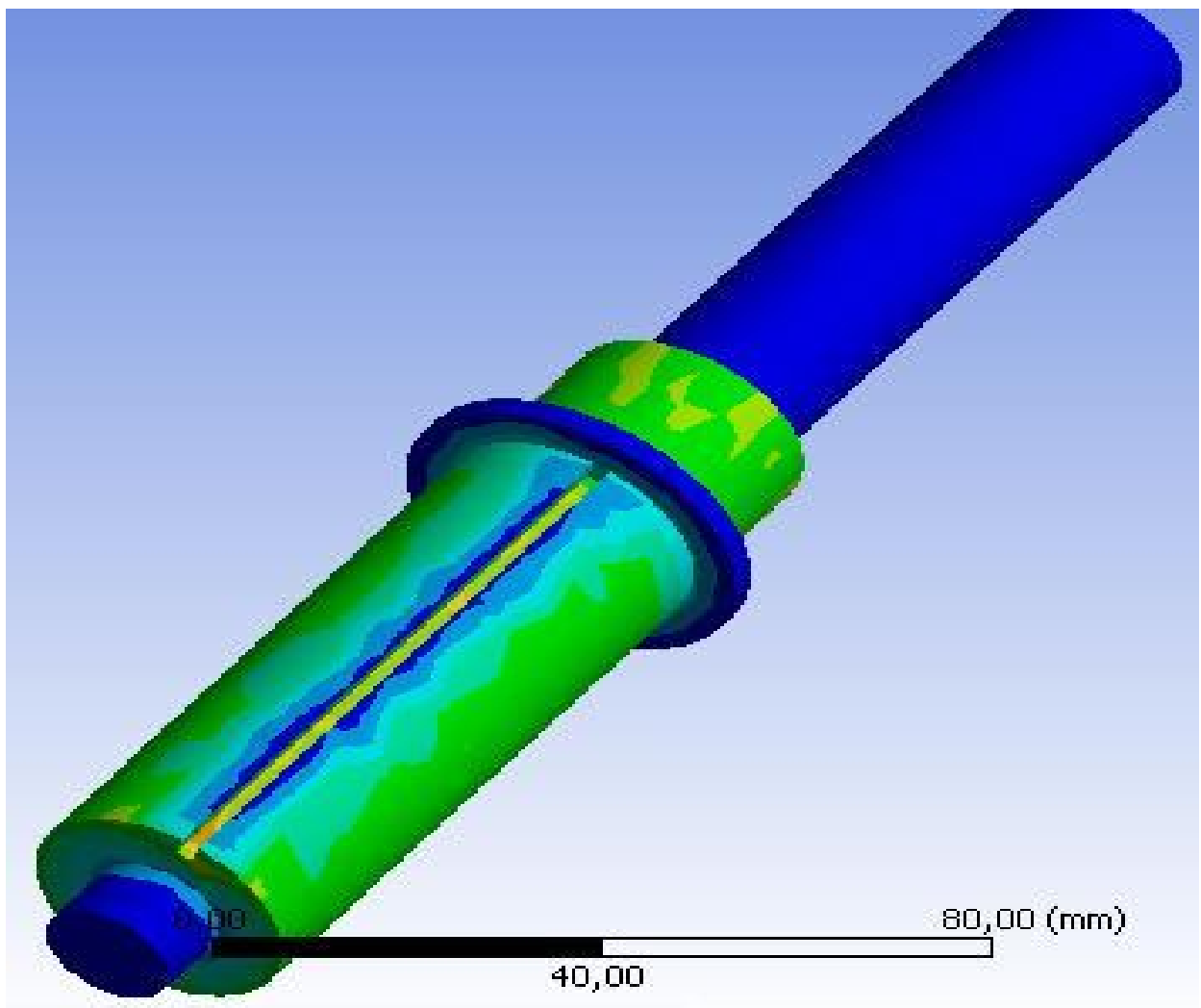


Рис.9.

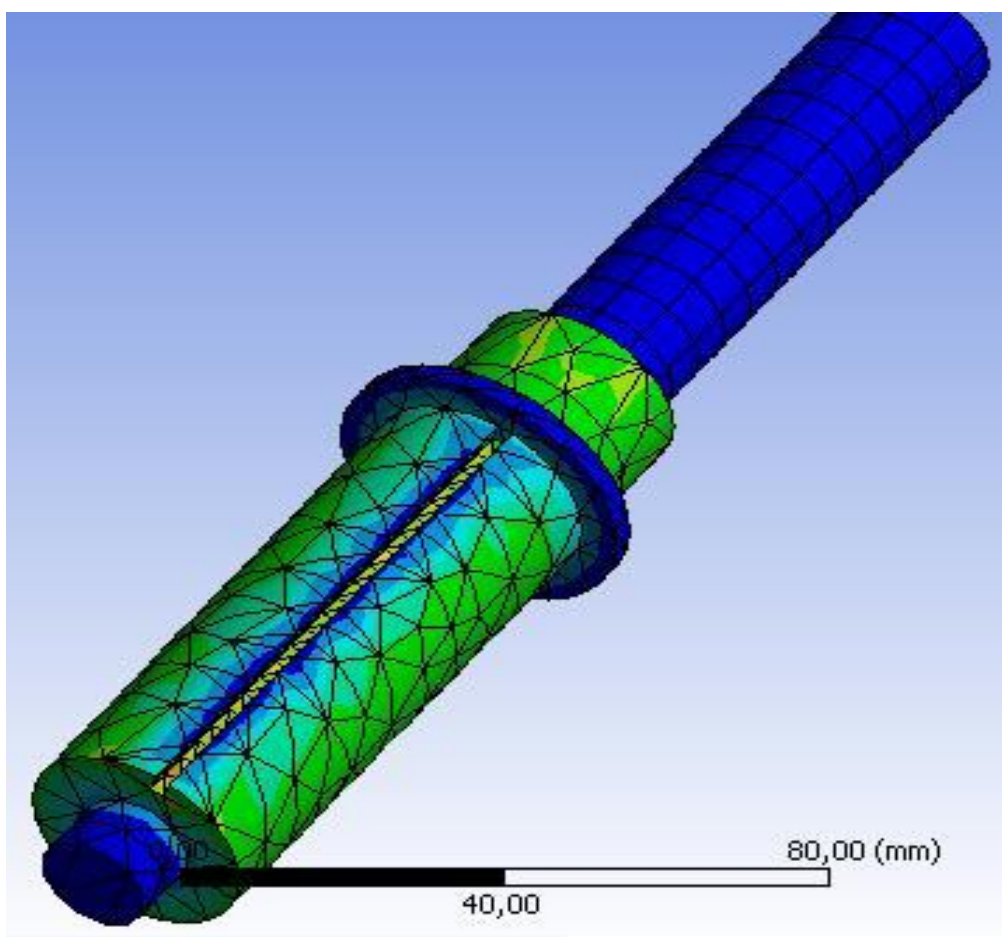


Рис.10.

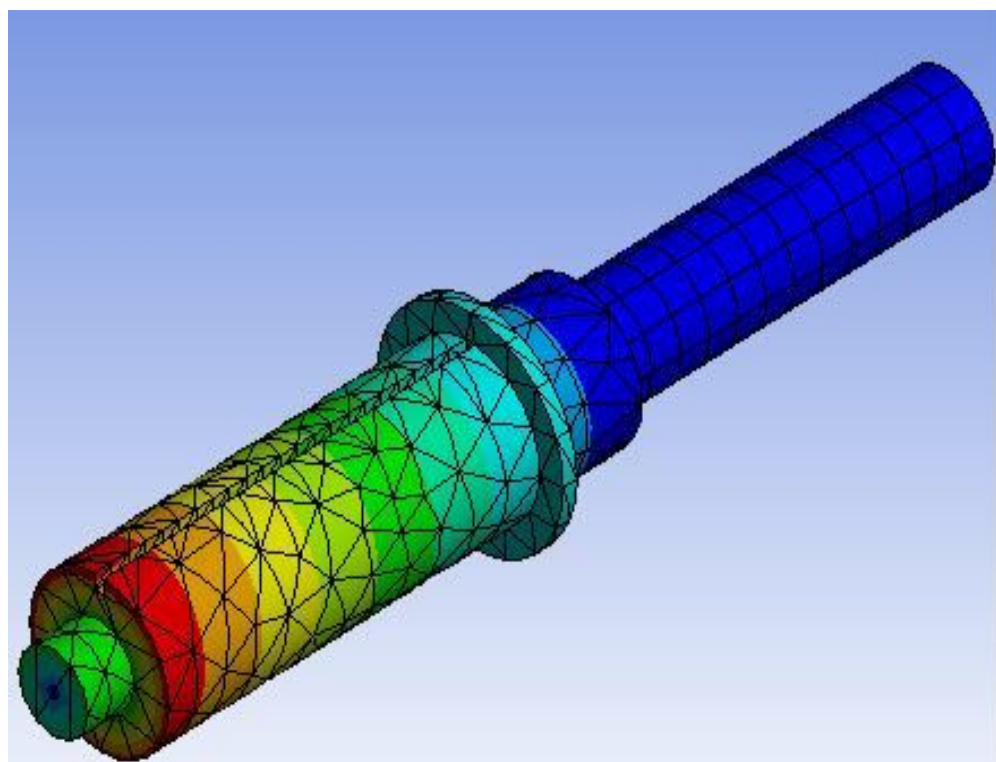


Рис.11.

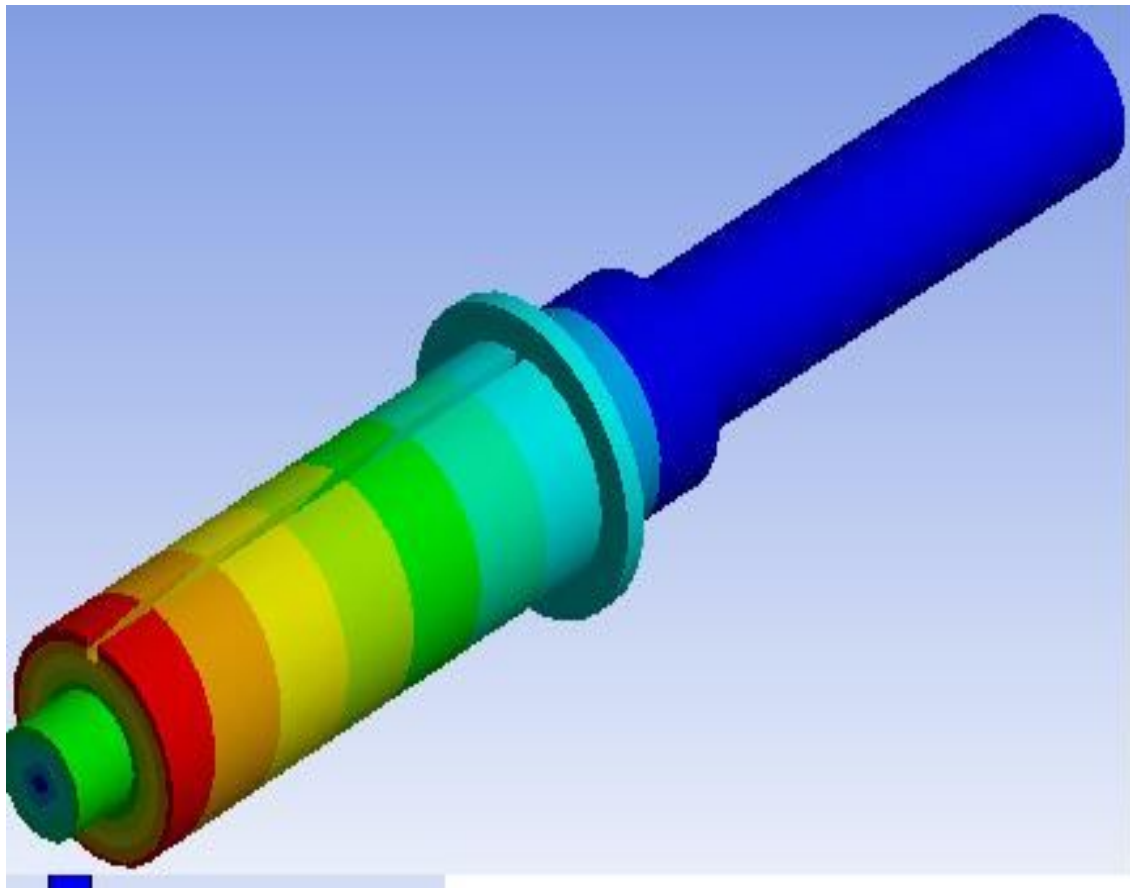


Рис.12.

### Контрольні питання:

1. В яких одиницях в системі СІ вимірюється відстань?
2. Які інструменти призначені для геометричного моделювання в Ansys Workbench?
3. Пояснити, що таке напруження, деформація, закон Гука, Е та яким чином ці характеристики задаються для конкретного матеріалу?
4. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей.?
5. Які пункти меню дозволяють змінювати проєкції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
6. Опишіть контекстне меню Design Modeler при побудові ескізу.
7. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?



## ПОБУДОВА ТВЕРДОТІЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПОРШНЯ ЗАСОБАМИ ANSYS WORKBENCH

*Тема роботи:* набуття практичних навичок побудови геометричної моделі поршня, загальний вигляд якої приведений на рис. 1

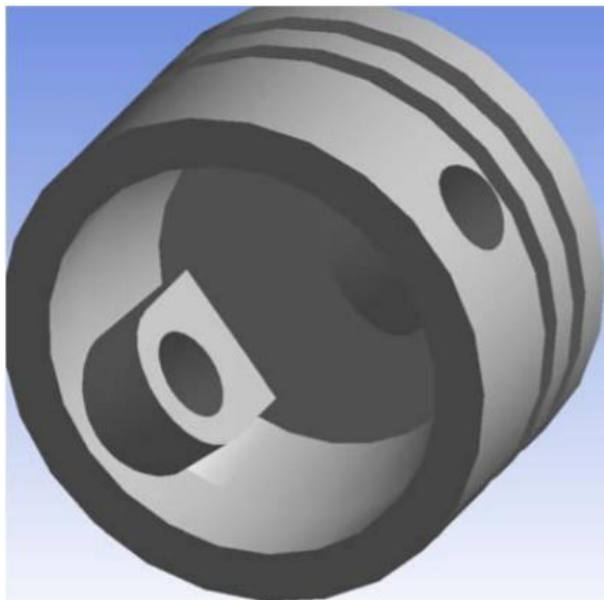


Рис.1 - Загальний вигляд поршня

Вихідні дані для побудови моделі наведені на рисунку 2.

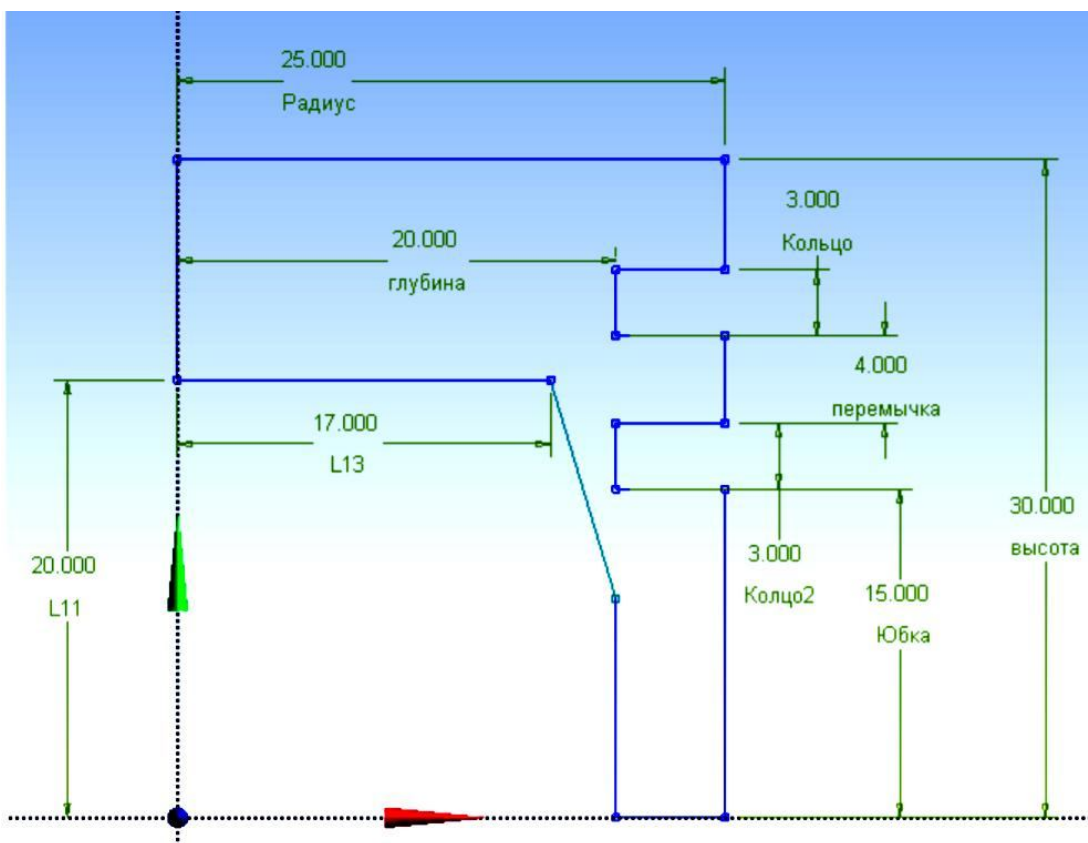


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

## Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;
- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

### Запуск програми.

1. Через стартове меню **ПУСК — ПРОГРАМИ — ANSYS — WORKBENCH**;
2. Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;  
(наприклад, на диску **F:\LabANSYS\_2**);
3. Запуск **Workbench**. Створення нового проекту: вказати робочу директорію та унікальне ім'я файлам.  
**/ПУСК/ ПРОГРАМИ/ ANSYSWORKBENCH/ SAVE AS/**.
4. Вибір типу аналізу.  
**/TOOLBOX/ ANALYSIS SYSTEM/ STATIC STRUCTURAL/** - В цій роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції. При цьому в полі вікна схеми проектів активізується меню даного проекту, яке включає такі позиції:
  - **Engineering Data** – підпрограма вибору механічних властивостей матеріалу;
  - **Geometry** – підпрограма побудови геометричної моделі;
  - **Model** – підпрограма побудови SE-сітки та вибору граничних умов;
  - **Setup and Solution** – задання опцій для процедур розрахунку;
  - **Results** – візуалізація отриманих результатів.

Завантажена платформа має головне меню, панель інструментів (**Toolbox**) та схему проектів (**Project Schematic**).



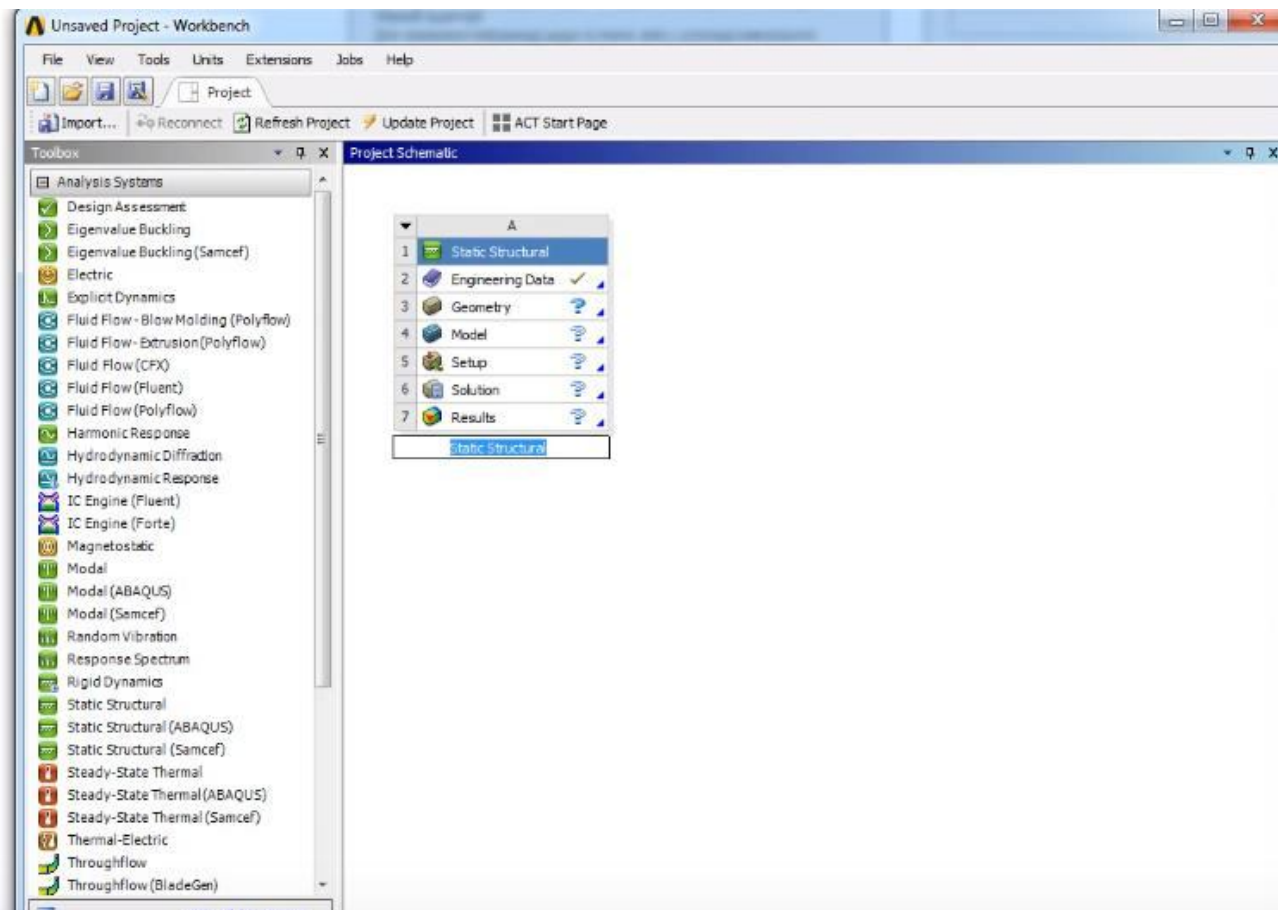


Рис.3 - Загальний вигляд панелі

## 5. Задання механічних характеристик

В вікні *Project Schematic* (рис.4) створюється блок вибору матеріалу деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на

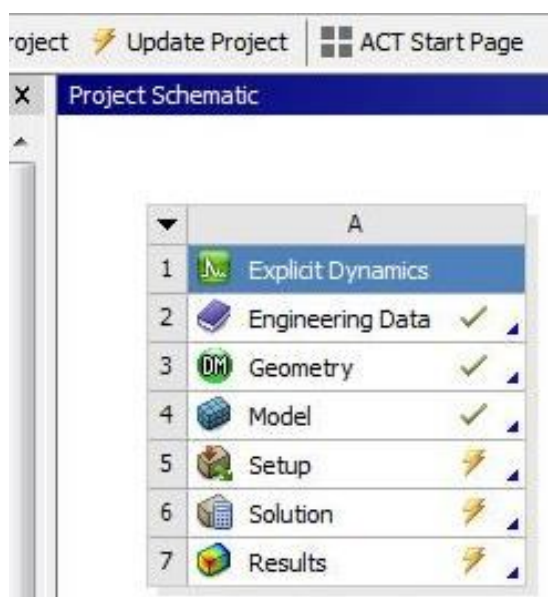
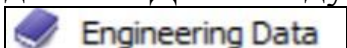


Рис.4 - Вікно Project Schematic

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі),

або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- в першому – бібліотека матеріалів;
- в другому – вибір характеристик конкретного матеріалу;
- в третьому – перегляд заданих у бібліотеці властивостей для обраного матеріалу.


Виберемо в бібліотеці матеріал **Structural Steel**.

Зауваження : якщо вікно аналізу **Engineering Data** приховане, то:

**/MM/ VIEW/ RESET/ WORKSPACE/**.

**/MM/ RETURN TO PROJECT/** - повернення до меню проекту.

## 6. Побудова геометричної моделі.

В вікні *Project Schematic* створюється блок геометрії деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на .

Після чого буде запущено модуль роботи з геометрією *Design Modeler*.

Варто сказати кілька слів про способи управління в графічному вікні програми:

- ЛКМ - відповідає за виділення геометрії;
- СКМ - дозволяє орієнтуватися в просторі і обертати модель;
- ПКМ - дозволяє масштабувати деталь і викликати контекстне меню.

6.1. Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:

**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMENTRY** у спливаючому вікні /.

*Desing Modeler (DM)* включає:

- *Main Menu* – головне меню;
- *Tree Outline* – дерево геометричної моделі;
- *Graphics* – вікно виводу графіки.

Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).

Вибір системи одиниць виміру – систему СІ.

**/MAIN MENU/ UNITS/ METRIC/**.

У вкладці вибрати розміри в мм. **/MM/ UNITS/;**

Поршень буде тілом обертання. Тому першою операцією логічно



виконати операцію обертання.

Далі необхідно буде створити бобишки і інші конструктивні елементи: фаски, камеру згоряння, перемички, вирізи і т.д.

Для створення моделі поршня за допомогою операції обертання необхідно побудувати ескіз. Ескіз буде профілем поршня і віссю обертання

6.2. Розглянемо побудову ескізу поршня.

6.2.1. У дереві моделі ЛКМ **TreeOutline** за робочу площину виберемо **XYPlane**;

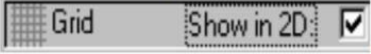
У графічному вікні пунктиром підсвічуються осі X і Y. Щоб перейти в режим редагування ескізу, необхідно вибрати **Sketching** в тому ж вікні. Для ортогональної орієнтації до площини ескізу необхідно вибрати на панелі іконку  або викликати контекстне меню через ПКМ і вибрати  **Look at**, що рівноцінно.

**/mm/ NEWSKETCH/.**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1 (правою)/ LOOK AT FACE/.**


6.2.2. Побудова контуру поршня з розмірами, які задані в вихідних даних:

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ LINE/** 

Для зручності малювання вертикальних і горизонтальних ліній включимо відображення допоміжної сітки за допомогою панелі **Sketching Toolboxes-Settings**, встановивши галочку навпроти **Grid-Show in 2D** 

Під час створення ліній поряд з'являтимуться букви **V** та **H** (прив'язки), що визначають просторове положення лінії в ескізі. Буква **V** показує, що лінія має строго вертикальне положення, а буква **H** визначає горизонтальну лінію. Щоб припинити створення чергової лінії, необхідно натискати **Escape**.

При створенні профілю потрібно часта зміна масштабу. Зручно використовувати локальне масштабування.

За допомогою ПКМ (затиснувши) виділяємо прямокутну ділянку для необхідного збільшення і відпускаємо кнопку. Для повернення до загального вигляду ескізу використовуємо команду в контекстному меню (через ПКМ) **Zoom to Fit** або натискаємо  на головній панелі.

Командами **Line** креслимо контур поршня, показаний на рис. 4.



*Horizontal* або *Vertical* - горизонтальний або вертикальний розмір відповідно;

*Length/Distance* - довжина або відстань між об'єктами ескіза;

*Radius* або *Diameter* — радіальний або діаметральний розмір відповідно.

Відзначимо, що величина розміру може бути змінений у будь-який час у вікні *Details View* або виконанням команди

### SKETCHING TOOLBOXES/DIMENSIONS/EDIT.

Щоб бачити характеристики розміру необхідно виконати команди **SKETCHING/TOOLBOXES/DIMENSIONS/DISPLAY/** і вибрати відображення імені розміру (*Name*) або значення (*Value*).

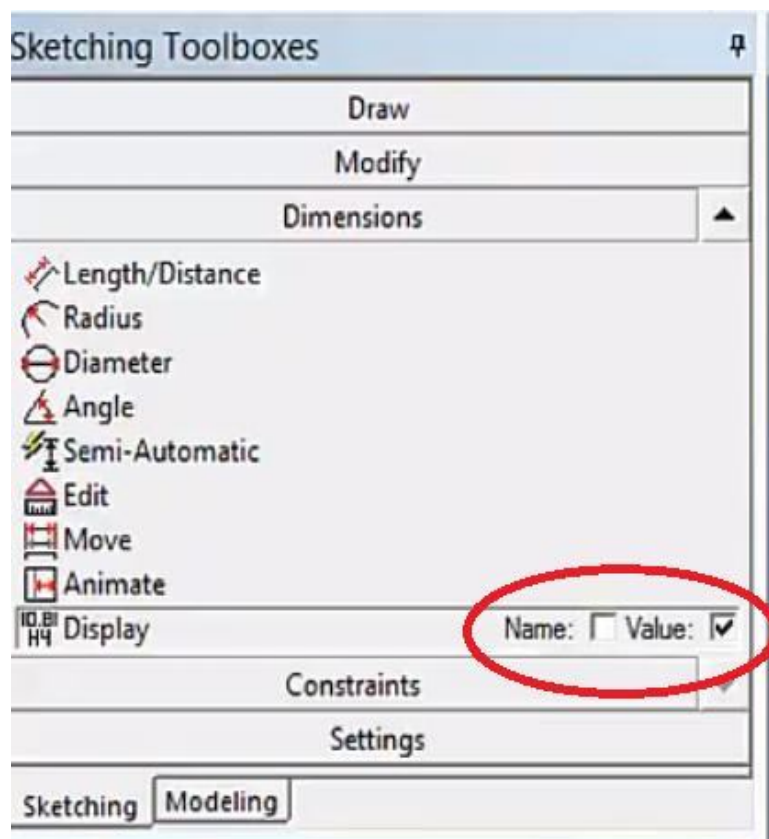


Рис.7 - Характеристики розмірів

Переходимо до меню загального моделювання:

### /TREE OUTLINE/ MODELLING/;

Після того, як був отриманий основний профіль поршня, приступаємо до побудови тривимірної моделі основного тіла.

Для обертання побудованого профілю використовуємо команду «обертання». *Revolve*

### MAIN MENU/REVOLVE/

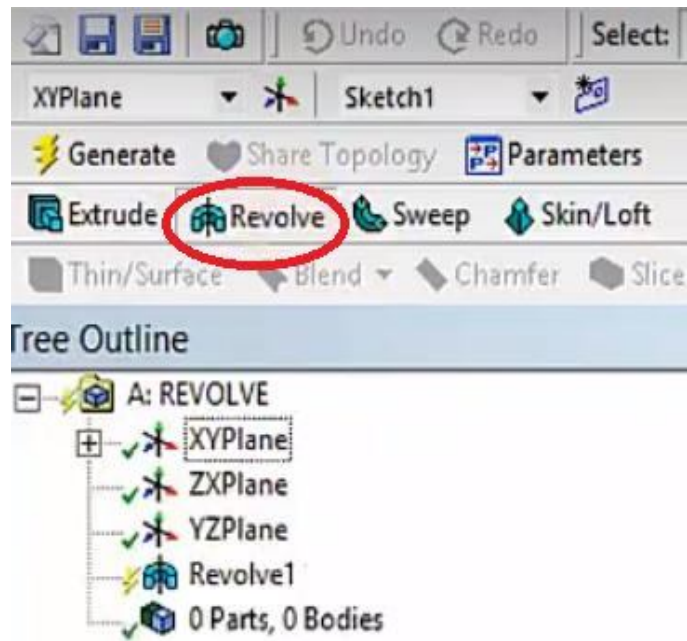


Рис.8 - Команда Revolve

Після вибору якої у вікні *Details View* з'являється вікно налаштувань параметрів операції обертання (рис.9).

В якості базового об'єкта вкажемо створений раніше ескіз. Віссю обертання буде вісь *Y*.

**AXIS** (клік вісь *Y*)/**APPLY**/

Кут обертання 360°

Напрямок –Normal

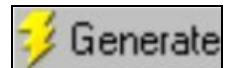
Всі інші параметри можна залишити тими-ж самими «за умовчанням».



Рис.9 - Налаштування операції обертання



/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі



Після виконання команди *Revolve* буде отримана деталь, яка зображена на рис.10.

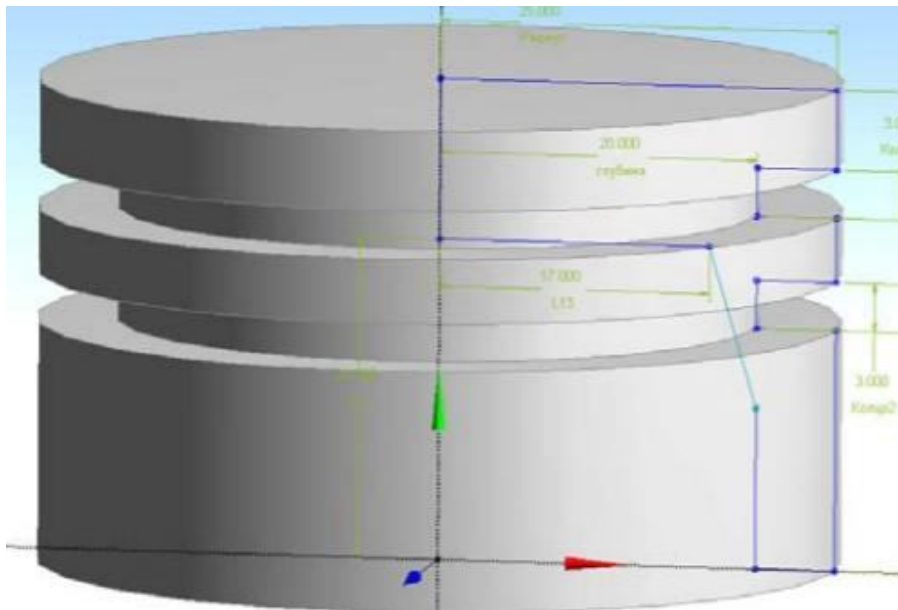


Рис.10 - Результат виконання операції *Revolve*

Наступним етапом створення тривимірної твердотільної моделі поршня є побудова бобишек.

Спершу необхідно побудувати площину, в якій буде побудована бобишка. Ця площина буде зміщена відносно попередньої на деяку величину в напрямку осі Z. Ця величина конструктивна. В нашому випадку зміщення 12 мм.


NEW PLANE (  ). З'являється вікно *Details of plane5*.

Details of Plane5	
Plane	Plane5
Type	From Plane
Base Plane	XYPlane
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

Рис.11 - Налаштування вікна при створенні нової площини

*Поступально переміщуємо систему координат вздовж осі Z.*

**DETAILS OF PLANE5/ TRANSFORM1/OFFSET Z(ПКМ)/ VALUE/12MM/ GENERATE/**

На побудованій площині створюємо ескіз, натиснувши ЛКМ іконку нового ескізу  на головній панелі.

Побудова ескізу аналогічно побудові ескізу в операції обертання.

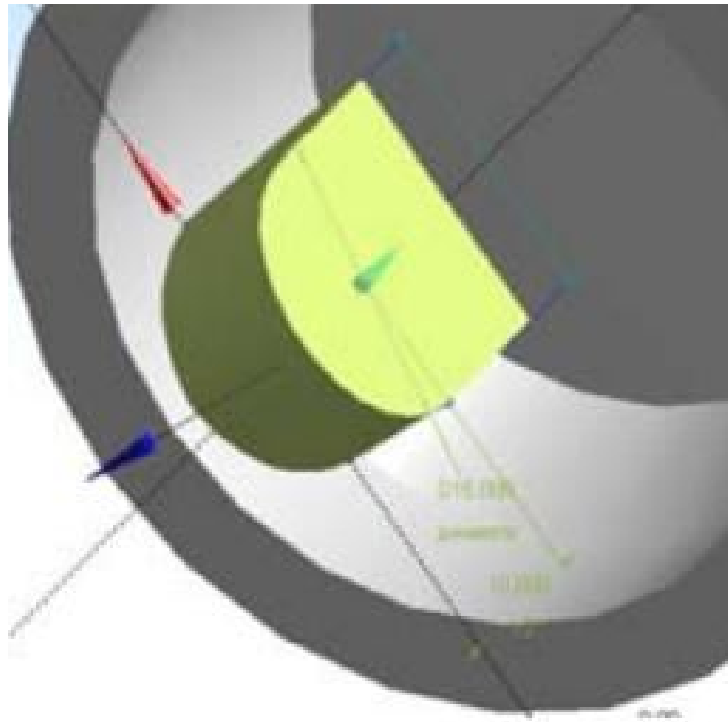



Рис.12 - Ескіз бобишки

**/mm/ NEWSKETCH/;**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1NG/ DRAW/**

На панелі меню вибираємо кнопку **Extrude**  для видовження побудованого ескізу, при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (**Add Frozen**). У вікні **DV** задаємо його точну довжину.

Для пункту **Extent Type**, значення якого за допомогою ЛКМ встановлюємо - **To Next**, і пункту **Operation**, значення якого встановлюємо **Add Frozen**. Після виконання операції буде створено 2 різних тіла.

**/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.**

Далі необхідно отримати дзеркальну копію побудованої бобишки щодо площині **XYPlane**. Для цього скористаємося командою **Pattern**.



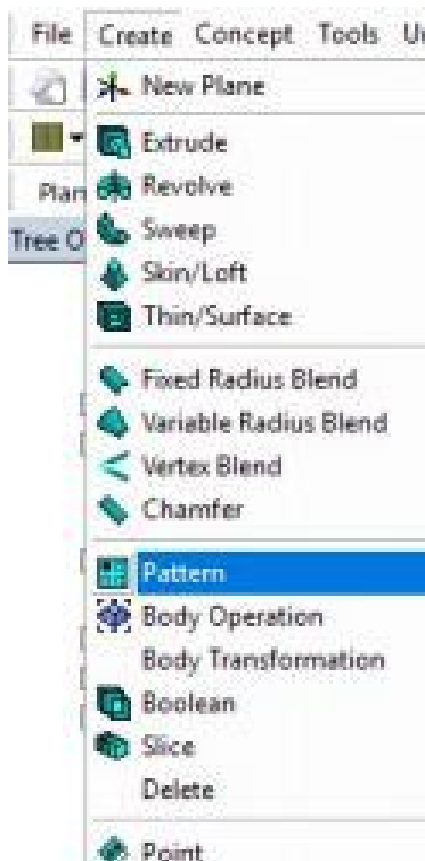


Рис.13 - Команда Pattern.

Налаштування команди здійснимо згідно рис. 14.

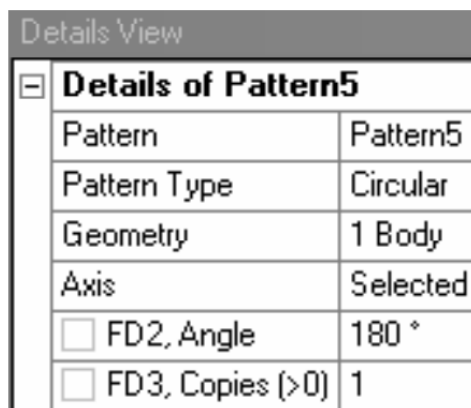


Рисунок 14. Налаштування вікна копіювання бобишки

**/GENERATE/** - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.

Після виконання команди будуть отримані 3 тіла. Тепер необхідно здійснити поєднання цих трьох тіл в одне тіло, для чого скористаємося

командою булевої операції  **Boolean**. Для виконання команди необхідно з затиснутою клавішею CTRL виділити три тіла.

**/CREATE/ BOOLEAN/ GENERATE/**.

У вікні **Tree Outline** повинно бути одне тверде тіло (рис. 15).

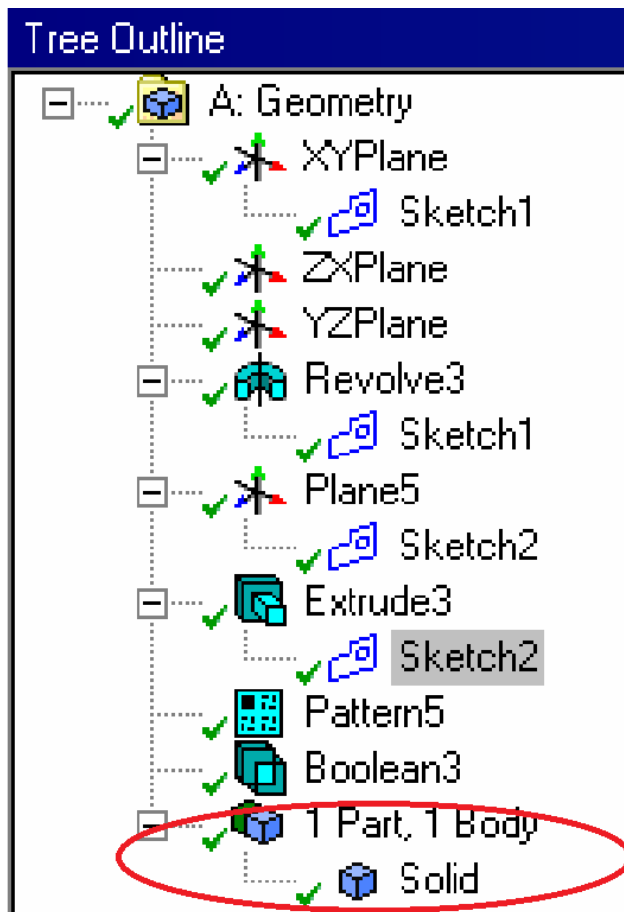


Рис.15 - Вид вікна проекту після об'єднання частин

Побудована модель поршня не містить отвір під поршневий палець. Для побудови отвору під поршневий палець використовується вже знайома команда *Extrude*.

*Будуємо коло в площині XYPlane.*

**/TREE OUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CIRCLE/** - далі задаємо точні розміри кола та його положення .

*Переходимо до меню загального моделювання :*

**/TREE OUTLINE/ MODELLING/;**

*Будуємо отвір у попередній тривимірній моделі шляхом екструзії Sketch2.*

**/mm/ EXTRUDE/** . При цьому потрібно задати опції вирізання (Cut) матеріалу із існуючої заготовки:

**/DETAILS VIEW/ OPERATION/ CUTMATERIAL/.**

**/DIRECTION/BOTH/SYMMETRIC/EXTENT TYPE/THROUGH ALL/**

*Запоминаємо всі проведені побудови:*

**/mm/ GENERATE/.**

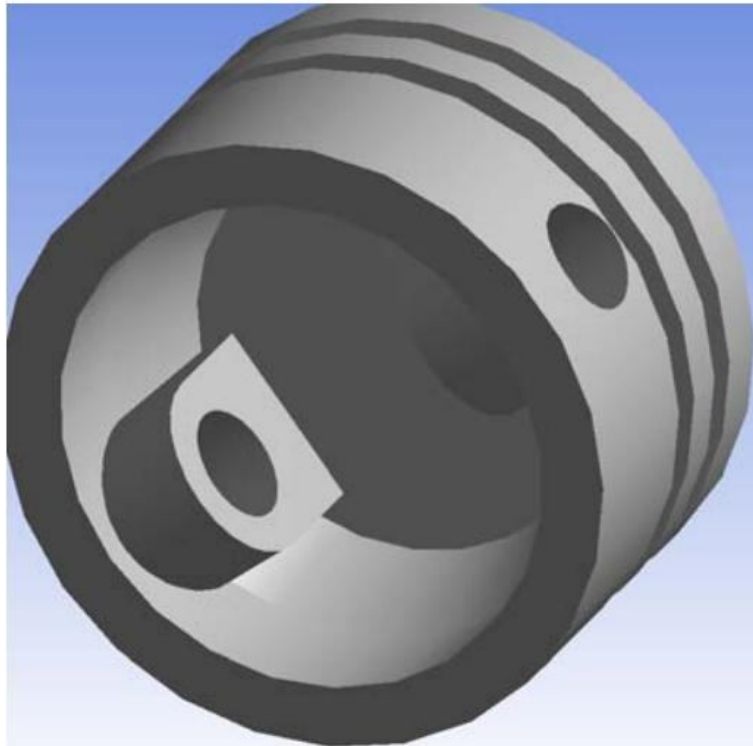



Рисунок 16. Побудована модель поршня

Для виконання операції фаски вибираємо в головному вікні команду  Chamfer

**/MAIN MENU/ CHAMFER/**


**Вибираємо, натиснувши клавішу Ctrl два нижніх ребра поршня, що знаходяться на юбці**

**/DETAILS VIEW/GEOMETRY/APPLY.**

**TYPE /LEFT-ANGLE.**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

Для виконання операції округлення вибираємо в головному вікні команду  Blend. Для цього служить команда, яка дозволяє вибрати як постійний радіус округлення **Fixed Radius Blend**, так і змінний - **Variable Radius Blend**.

**MAIN MENU/BLEND/**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

**/SAVE/ - готового проекту.**

**По ходу виконання проекту для формування звіту потрібно зберегти у файлах копії поточних рисунків.**

## Результати

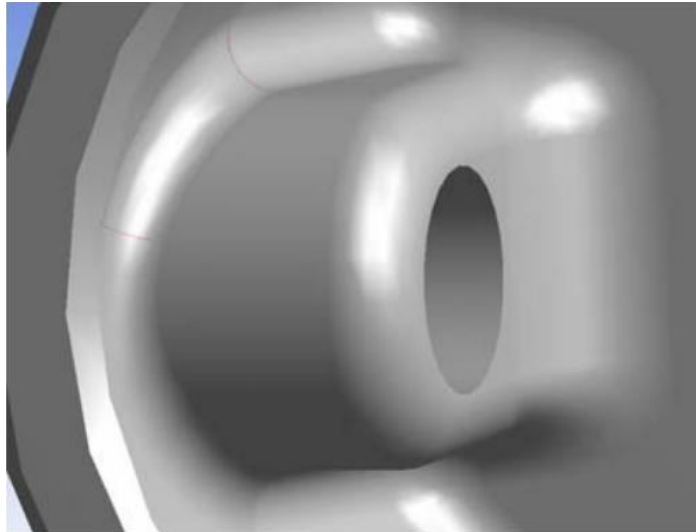


Рис.17 - Вид на внутрішню частину поршня після застосування операцій округлення і фаски

### Контрольні питання:

1. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей?
2. Які пункти меню дозволяють змінювати проекції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
3. Опишіть контекстне меню **Design Modeler** при побудові ескізу.
4. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?
5. За допомогою яких команд можливо набудувати **CEM** в програмному середовищі **Ansys Workbench**?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство пользователя ANSYS. Краткий курс Краткое описание основ в Ansys. -26 с.
2. Бруяка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. - Учебное пособие. - Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2010. - 271 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах Под общ. ред. Д. Г. Красковского. - М: КомпьютерПресс, 2002. -224 с: ил.
4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя М.: ДМК Пресс, 2005. - 640 с.: ил.
5. Огородникова О. М. Компьютерный инженерный анализ в среде ANSYS Workbench [Электронный ресурс] // Екатеринбург: Техноцентр компьютерного инжиниринга УрФУ. 2018. 350 с.
6. Глинкин С. А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / С. А. Глинкин; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 107 с

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Моделювання НДС вала трансмісії зі шліцами.....	4
Побудова твердотільної моделі поршня засобами ANSYS WORKBENCH.....	12
Література .....	26

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки  
до проведення практичних занять

**Укладачі:**

**ГРИЩЕНКО** Володимир Миколайович,  
**СВІРГУН** Ольга Анатоліївна  
**КАЛІНІН** Євген Іванович,  
**САВЧЕНКО** Володимир Борисович,

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Умов. друк. арк. 1,63  
Наклад 100 примірників.

---

Віддруковано у друкарні ФОП Заночкин Д.Л.  
м. Харків, вул.Плеханівська, 16.  
Зам. 0305/2019. тел. 757-93-82.



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу  
Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича**

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

**Методичні вказівки до проведення практичних занять**

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Харків  
2019



Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я.Аніловича

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки до проведення практичних занять

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної, заочної та дистанційної форм навчання  
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради ННІ ТС ХНТУСГ  
Протокол №7  
від 10 травня 2019р

Харків  
2019

**УДК 004.94**  
**Р 64**

Схвалено на засіданні  
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича  
Протокол №8 від "08" травня 2019 р.

Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ: метод. вказівки до проведення практичних занять для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч., спец. 133 Галузеве машинобудування / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: В.М.Грищенко, О.А.Свіргун, Є.І.Калінін, В.Б.Савченко,. - Харків : [б. в.], 2019. - 28с.

Методичні вказівки " Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ " розроблено з метою надання практичних навичок студентами під час виконання ними практичних завдань з відповідної дисципліни. Видання включає приклади вирішення задач з необхідними практичними поясненнями. Методичні вказівки містять також контрольні питання, які можуть бути використані в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

**Рецензенти:**

**Д. Б. Глушкова**, докт. техн. наук, проф., зав. кафедри технології металів та матеріалознавства ХНАДУ.

**С. О. Поляшенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Відповідальний за випуск (зав.каф.)** : В. Г. Кухтов, д-р. техн. наук, проф.

© В.М.Грищенко, О.А.Свіргун,  
Є.І.Калінін,В.Б.Савченко,  
ХНТУСГ, 2019

## ВСТУП

ANSYS - універсальна програмна система скінчено-елементного (МСЕ) аналізу, яка існує та розвивається на протязі останніх 30 років в сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) і СЕ рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестационарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестационарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування - виготовлення - випробування». ANSYS - пакет програм для комп'ютерного інженерного аналізу методом скінчених елементів, який охоплює багато напрямків розрахункового обґрунтування (механіка, гідродинаміка, електротехніка, електроніка і т.д.) і може виконувати багатодисциплінарні розрахунки.

В результаті виконання практичних робіт студент повинен навчитись на початковому рівні користуватися CAD/CAE системами. Засвоїти принципи роботи в CAD/CAE системах для розробки інженерних проектів, послідовність роботи в CAD/CAE системах

## МОДЕЛЮВАННЯ НДС ВАЛА ТРАНСМІСІЇ ЗІ ШЛІЦАМИ

**Тема роботи:** Моделювання напружено-деформованого стану вала трансмісії з використанням типу аналізу **Static Structural** – аналізу статичної міцності в **Ansys Workbench**. Загальний вигляд вала та вихідні дані представлені на рис. 1, 2. Розглянути варіанти різної кількості шліцевих канавок.

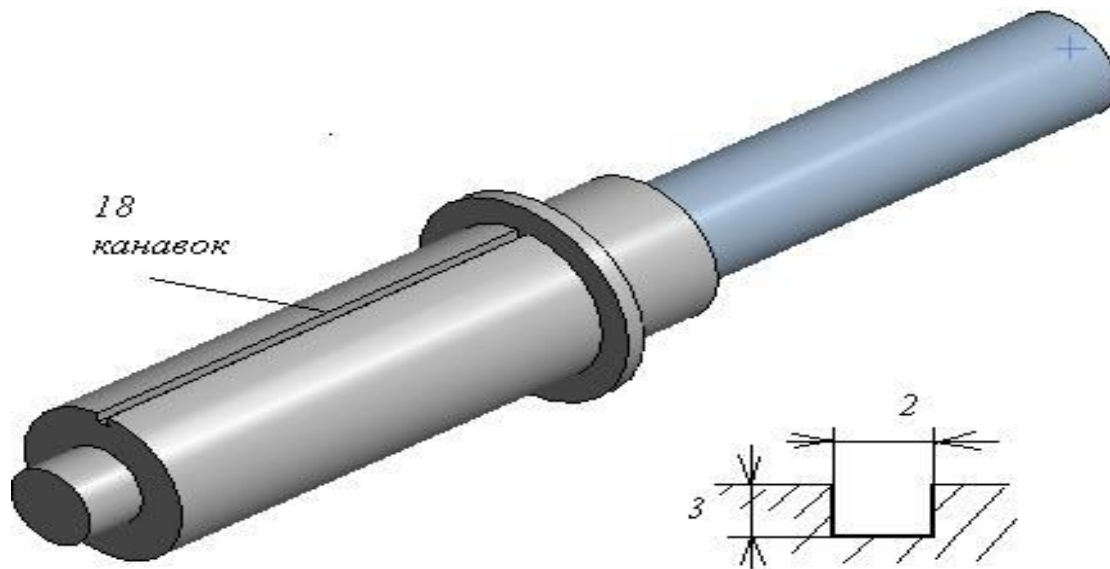


Рис.1 - Загальний вигляд вала.

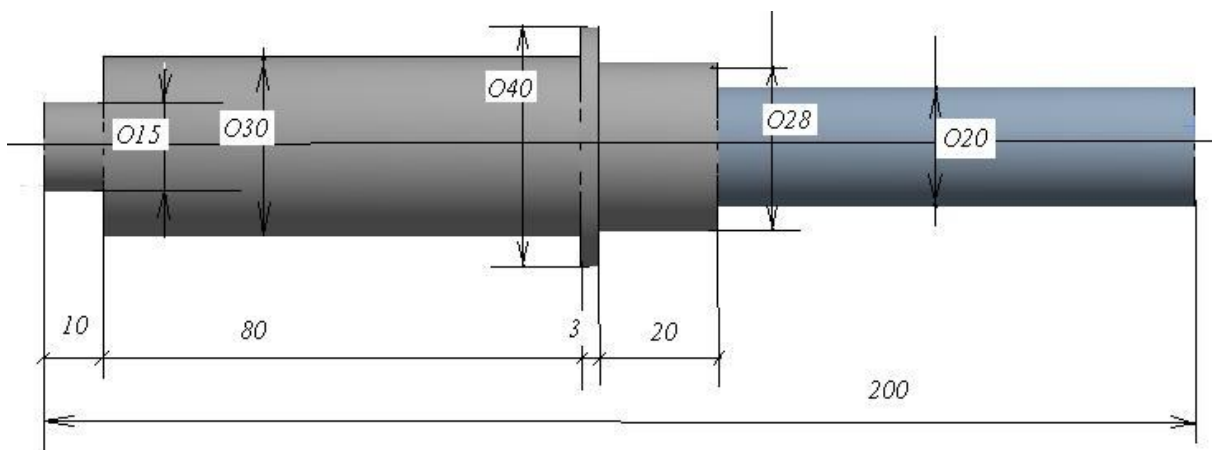


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

### Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;

- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

## **1. Підготовка проекту .**

- 1.1. *Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;*
- 1.2. *Запуск Workbench;*
- 1.3. *Вибрати систему одиниць виміру – систему SI;*
- 1.4. *Вибір типу аналізу. В даній роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції - **STATIC STRUCTURAL**.*

## **2. Задання механічних характеристик**

**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі), або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- *в першому, де знаходиться бібліотека матеріалів, задано по умовчужанню матеріал *Structural Steel*. Поряд з ним натискаємо у вікні ‘Click here to ’ та прописуємо матеріал користувача, наприклад: *Zalizo*.*
- *А в другому вікні –задаємо для нього відповідні характеристики, що потрібні в даному розрахунку та інші матеріали.*

**/mm/ Return to Project/** - повернення до меню проекту.

## **3. Побудова геометричної моделі.**

- 3.1. *Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:*  
**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMETRY** у спливаючому вікні /.
- 3.2. *У вкладці вибрати розміри в мм.*  
**/mm/ UNITS/**; Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).
- 3.3. *Розглянемо побудову ескізу вала.*
  - 3.3.1. *У дереві моделі *TreeOutline* за робочу площину виберемо *XYPlane*;*
  - 3.3.2. *Побудова циліндра, що моделює носок вала:*  
**/mm/ NEWSKETCH/**;  
**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CICLE/** ;
  - 3.3.3. *Виставляємо виноска розмірностей та видовжуємо переріз:*

**/SKETCHING/ DIMENSIONS/ GENERAL/;**

**/mm/ EXTRUDE/** - з необхідними опціями;

**/mm/ GENERATE/**.

3.3.4. *Таким же чином будемо створювати циліндричну поверхню шліцьової частини, але перед цим поступально переміщуємо систему координат на початок цього валу ( вздовж від'ємної осі Z).*

**/mm/ NEW PLANE/** та задаємо необхідні опції;

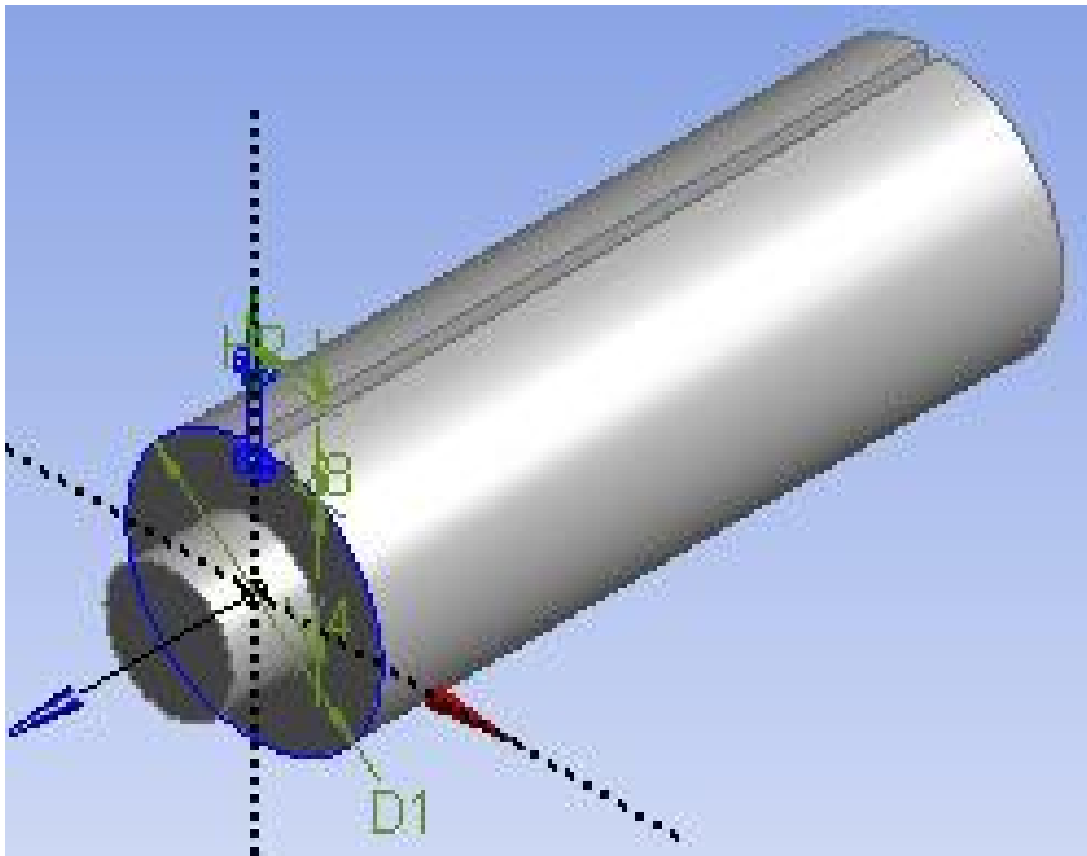


Рис.3 - Шліцьова частина.

3.3.5. *Надалі будемо створювати ескіз перерізу одного шліця та видовжуємо в обидві сторони*

**/mm/EXTRUDE/** при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (Add Frozen), та видовжують шліць симетрично в обидва боки (Both Symmetric).

**/mm/ GENERATE/** (рис. 4).

3.3.6. *Тепер з допомогою булевих операцій видаляємо з матеріалу вала матеріал шліця.*

**/mm/ CREATE/ BOOLEAN/** при цьому обрати **Subtract** в меню **Details**.

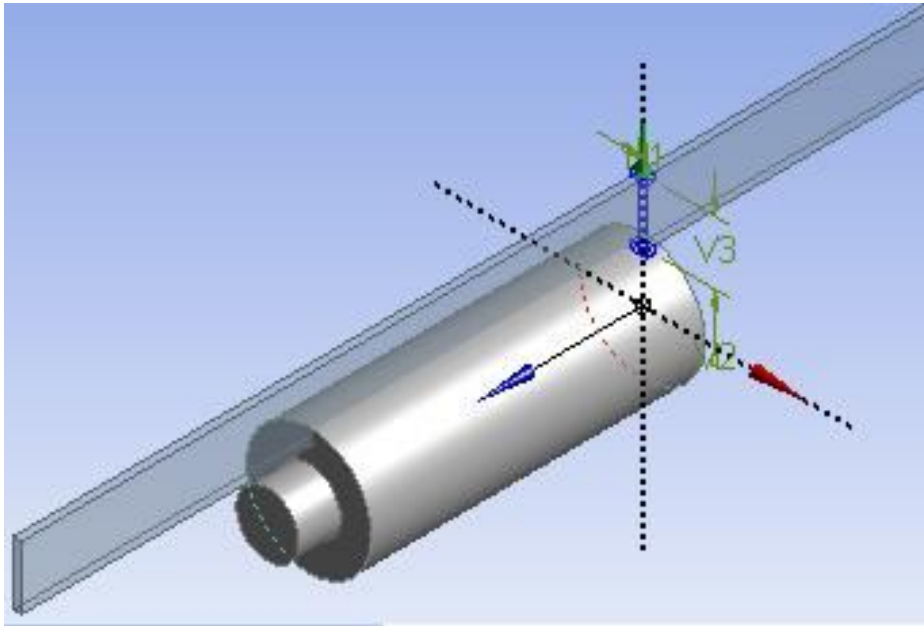


Рис.4.

3.3.7. *Надалі моделюванню підлягають циліндричні частини вала трансмісії, в якому повторюються попередні операції. Особливу увагу при цьому потрібно звернути лише на своєчасний лінійний переніс системи координат вздовж від'ємної частини осі Z, та моделювання хвостовика вала як окремого об'єкту-body (Add Frozen). Це потрібно для того, щоб продемонструвати як задаються різним частинам конструкції різні характеристики матеріалів.*

### Результати

Рисунки (5-12) демонструють результати подальшого моделювання.

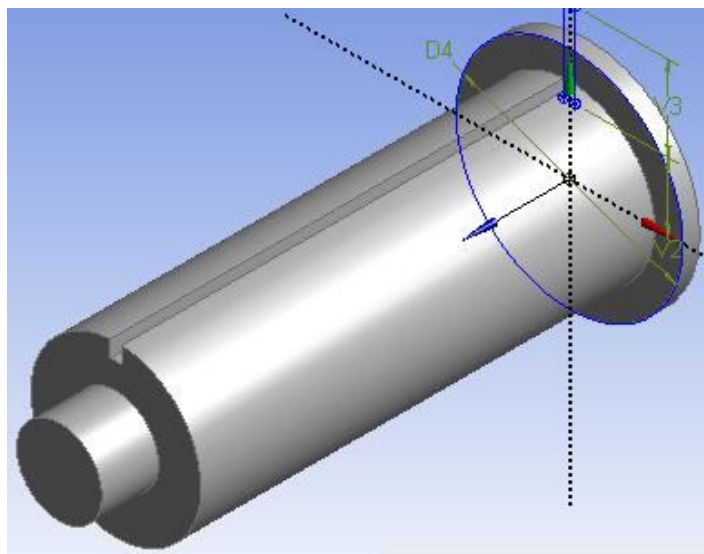


Рис.5.

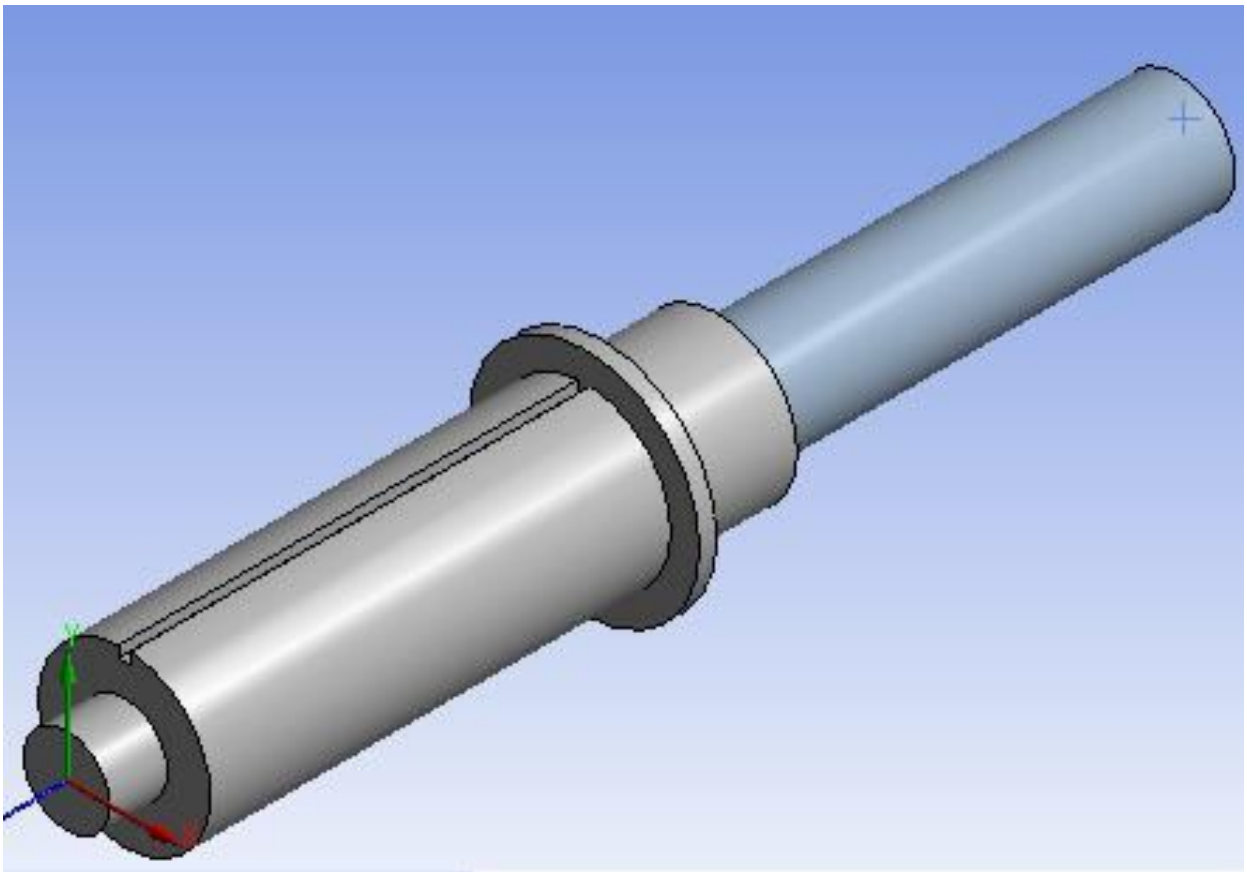


Рис.6.

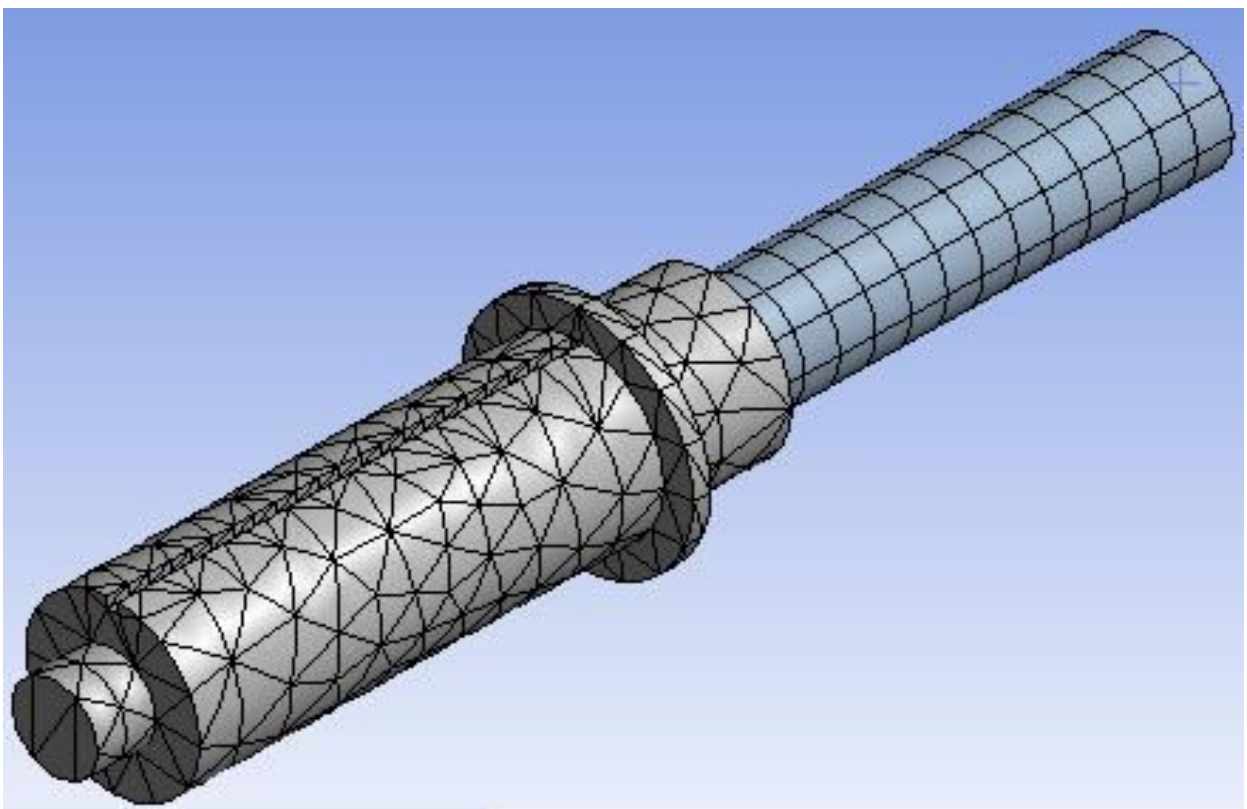


Рис.7.



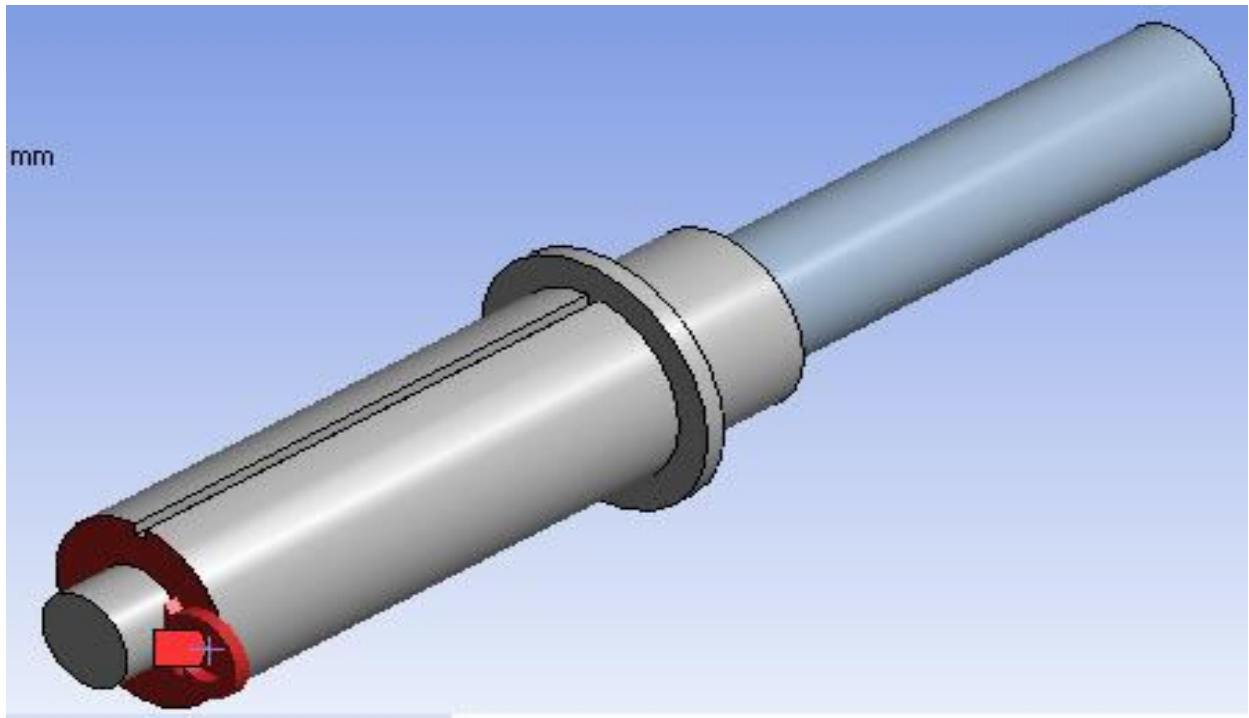


Рис.8.

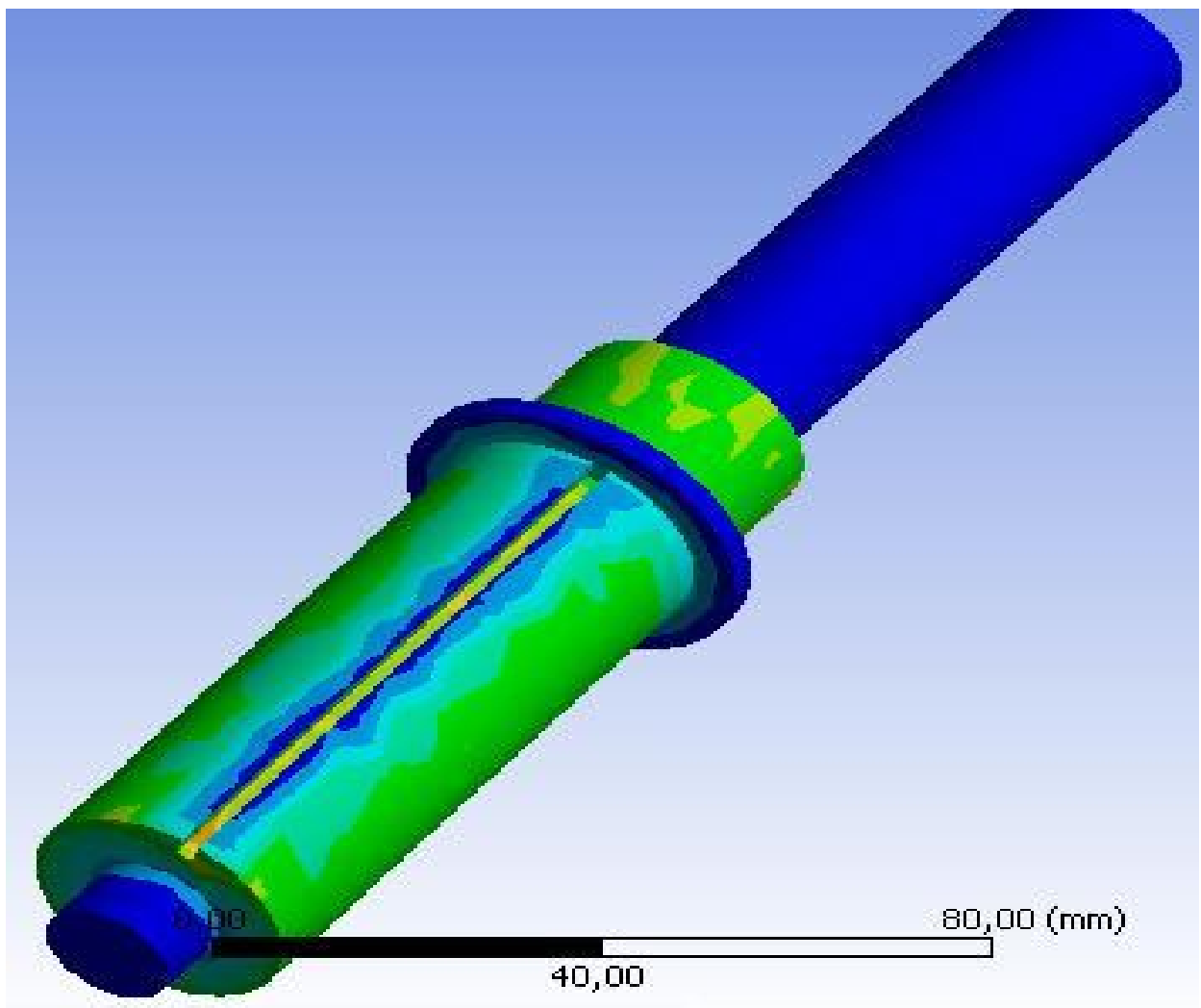


Рис.9.

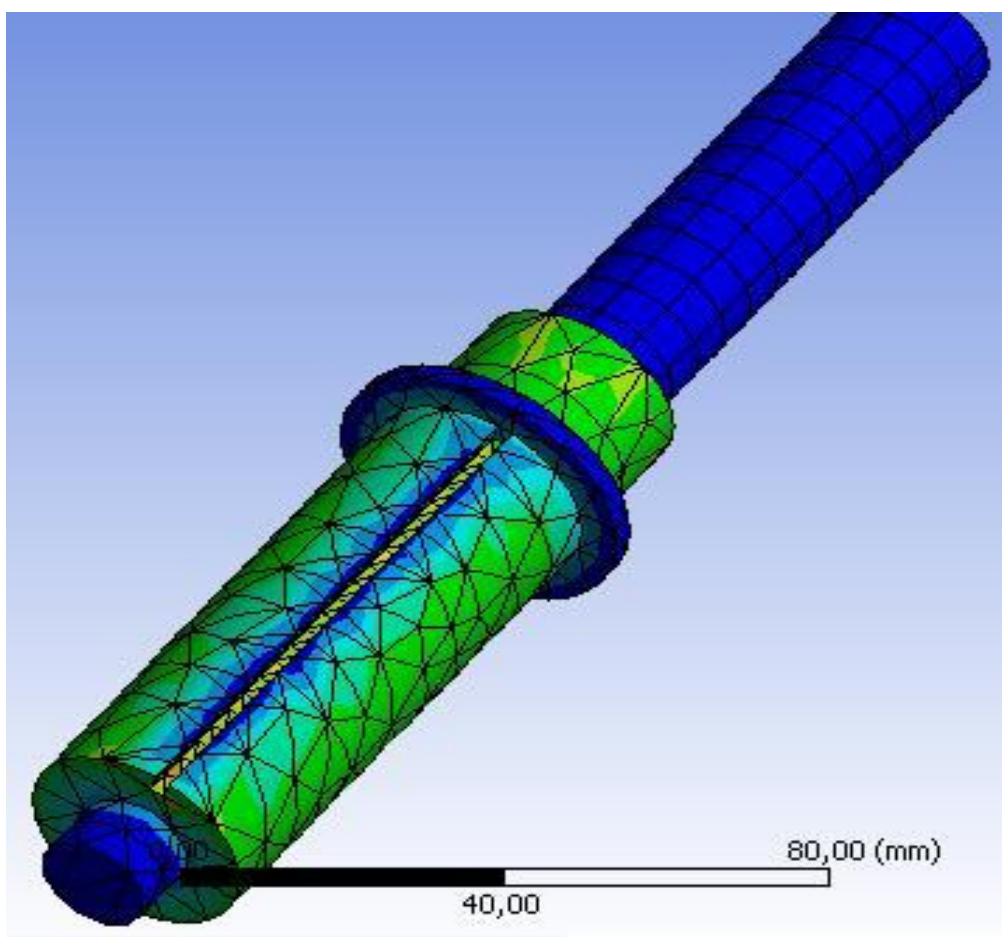


Рис.10.

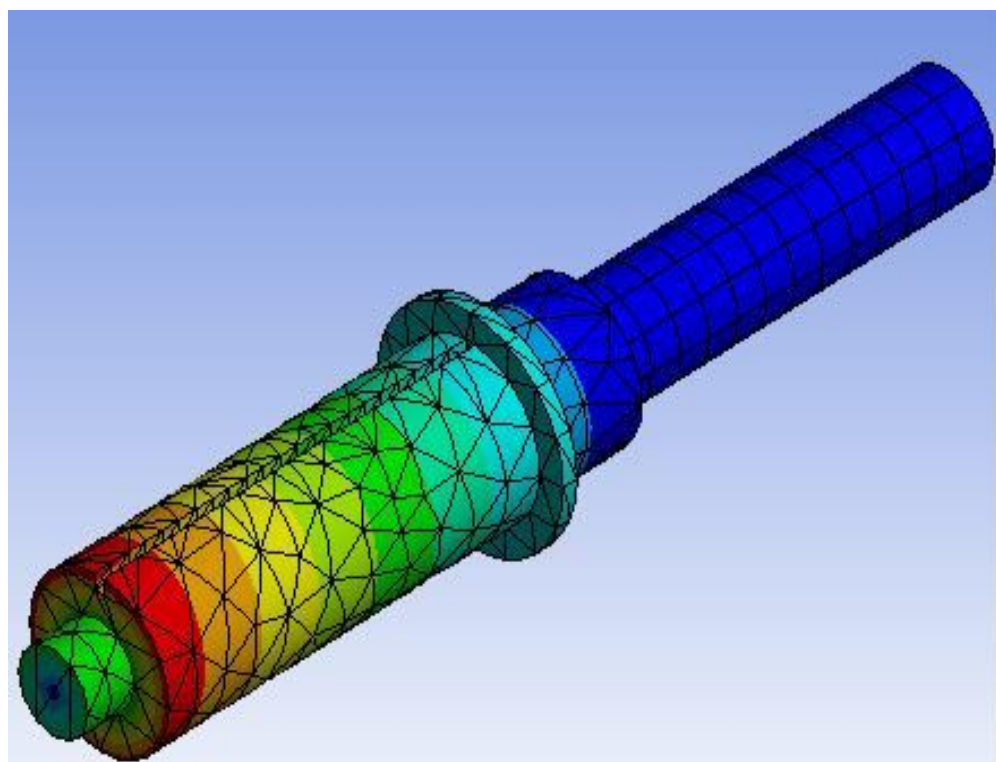


Рис.11.

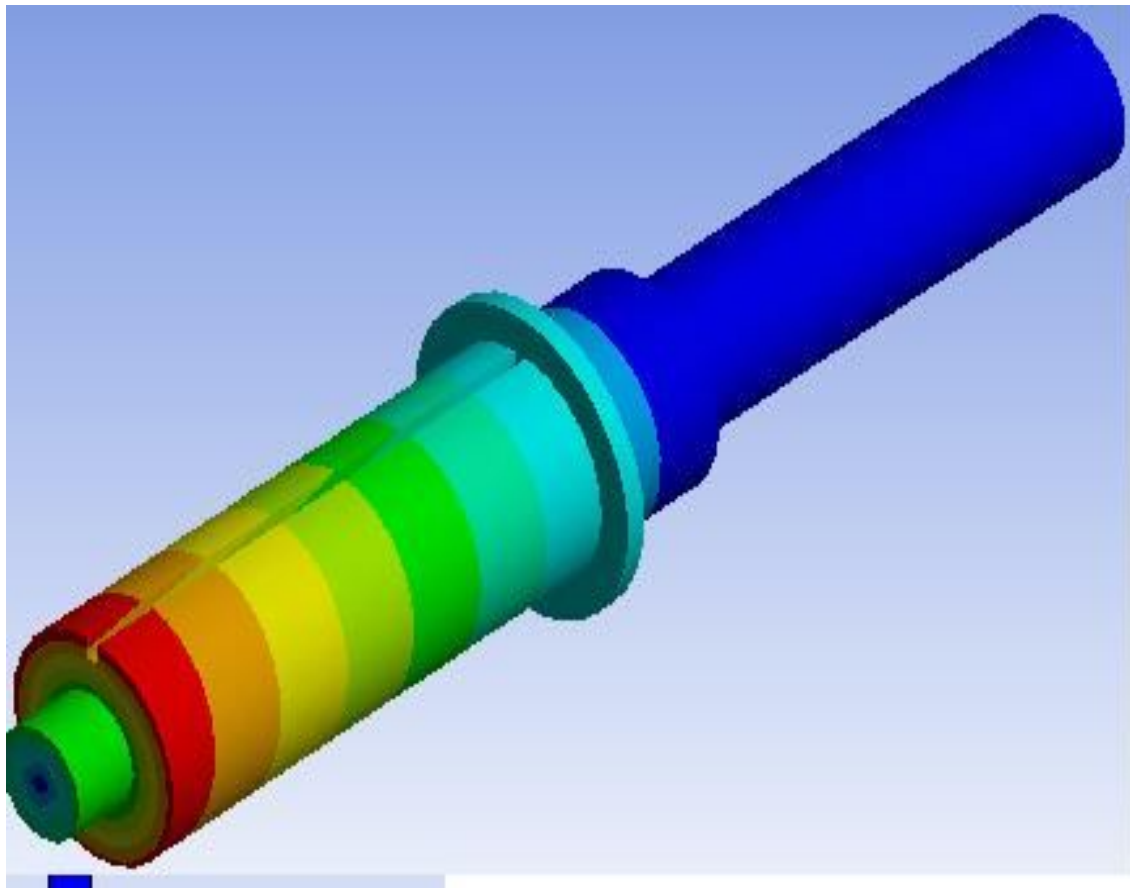


Рис.12.

### **Контрольні питання:**

1. В яких одиницях в системі СІ вимірюється відстань?
2. Які інструменти призначені для геометричного моделювання в Ansys Workbench?
3. Пояснити, що таке напруження, деформація, закон Гука, Е та яким чином ці характеристики задаються для конкретного матеріалу?
4. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей.?
5. Які пункти меню дозволяють змінювати проєкції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
6. Опишіть контекстне меню Design Modeler при побудові ескізу.
7. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?

## ПОБУДОВА ТВЕРДОТІЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПОРШНЯ ЗАСОБАМИ ANSYS WORKBENCH

*Тема роботи:* набуття практичних навичок побудови геометричної моделі поршня, загальний вигляд якої приведений на рис. 1

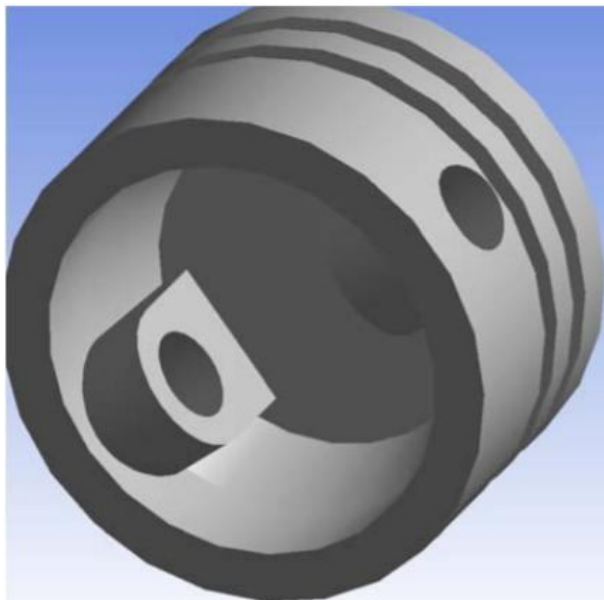


Рис.1 - Загальний вигляд поршня

Вихідні дані для побудови моделі наведені на рисунку 2.

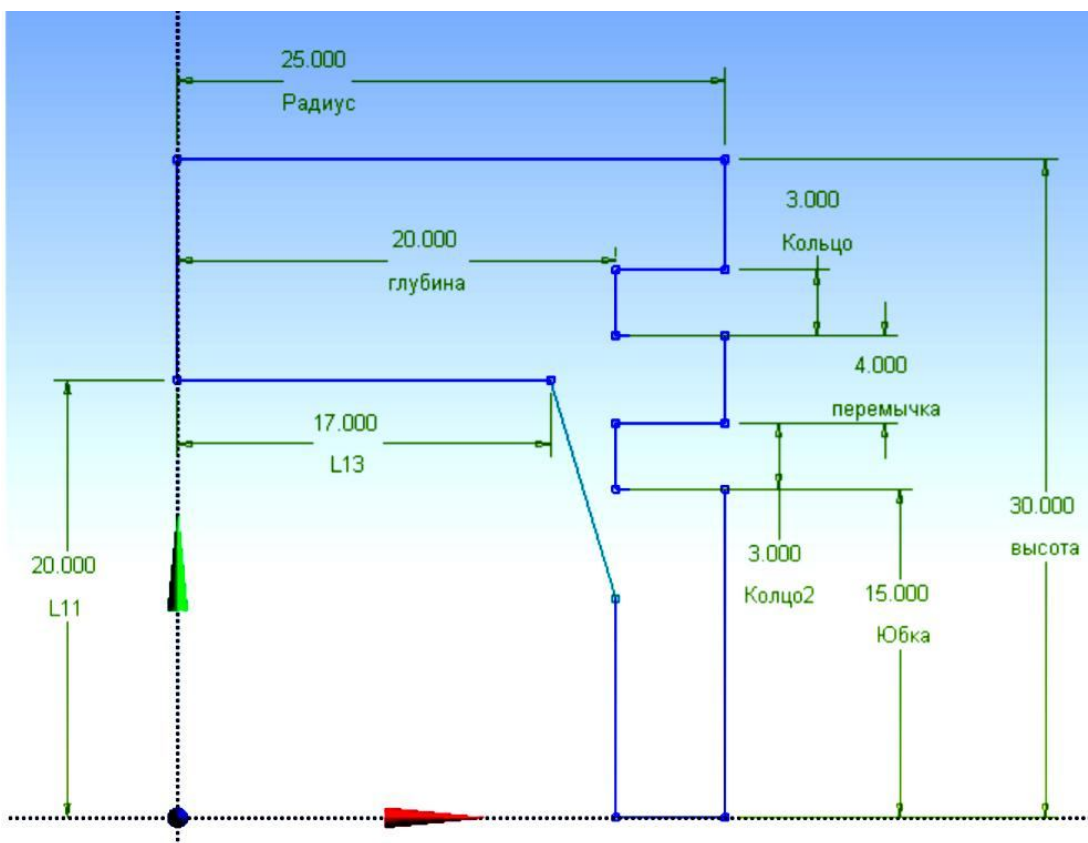


Рис.2 - Вихідні дані моделі.

## Методика виконання завдання

Дослідження моделі складається з наступних етапів:

- вибір розрахункового модуля;
- завдання фізичних властивостей матеріалів;
- побудова геометричної моделі;
- створення кінцево-елементної сітки;
- накладення навантажень і закріплень;
- вибір вихідних даних;
- проведення обчислень;
- аналіз отриманих результатів;

### Запуск програми.

1. Через стартове меню **ПУСК — ПРОГРАМИ — ANSYS — WORKBENCH**;
2. Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання;  
(наприклад, на диску **F:\LabANSYS\_2**);
3. Запуск **Workbench**. Створення нового проекту: вказати робочу директорію та унікальне ім'я файлам.  
**/ПУСК/ ПРОГРАМИ/ ANSYSWORKBENCH/ SAVE AS/**.
4. Вибір типу аналізу.  
**/TOOLBOX/ ANALYSIS SYSTEM/ STATIC STRUCTURAL/** - В цій роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції. При цьому в полі вікна схеми проектів активізується меню даного проекту, яке включає такі позиції:
  - **Engineering Data** – підпрограма вибору механічних властивостей матеріалу;
  - **Geometry** – підпрограма побудови геометричної моделі;
  - **Model** – підпрограма побудови SE-сітки та вибору граничних умов;
  - **Setup and Solution** – задання опцій для процедур розрахунку;
  - **Results** – візуалізація отриманих результатів.

Завантажена платформа має головне меню, панель інструментів (**Toolbox**) та схему проектів (**Project Schematic**).

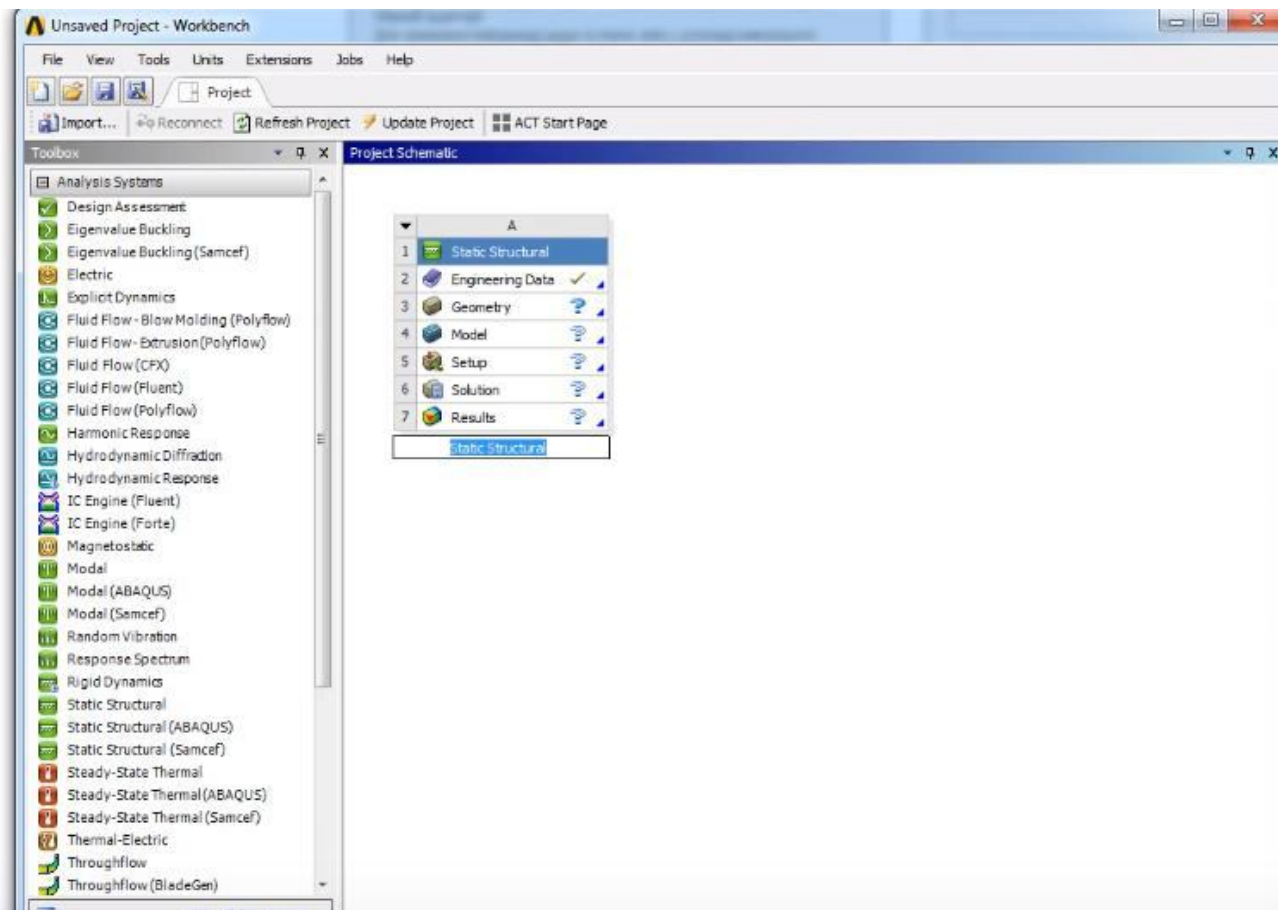


Рис.3 - Загальний вигляд панелі

## 5. Задання механічних характеристик

В вікні *Project Schematic* (рис.4) створюється блок вибору матеріалу деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на

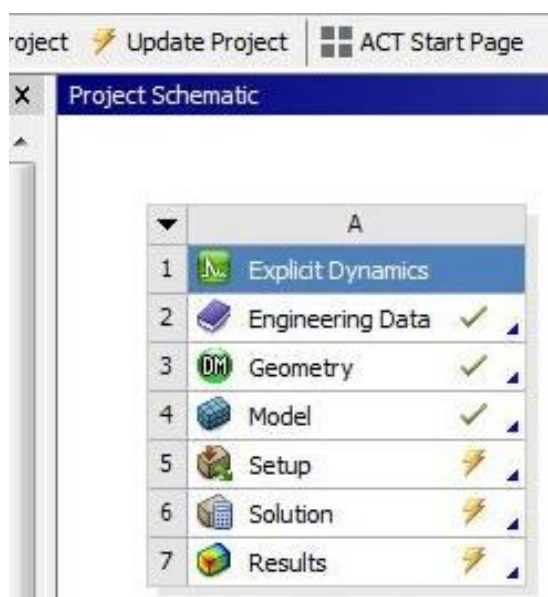
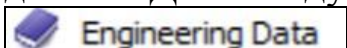


Рис.4 - Вікно Project Schematic



**/PROJECT SCHEMATIC/ ENGINEERING DATA** (двічі),

або правою позицію **EDIT** у спливаючому вікні/ – активізуються декілька вікон:

- в першому – бібліотека матеріалів;
- в другому – вибір характеристик конкретного матеріалу;
- в третьому – перегляд заданих у бібліотеці властивостей для обраного матеріалу.


Виберемо в бібліотеці матеріал **Structural Steel**.

Зауваження : якщо вікно аналізу **Engineering Data** приховане, то:

**/MM/ VIEW/ RESET/ WORKSPACE/**.

**/MM/ RETURN TO PROJECT/** - повернення до меню проекту.

## 6. Побудова геометричної моделі.

В вікні *Project Schematic* створюється блок геометрії деталі. Для входу в режим редагування, натиснемо двічі ЛКМ на .

Після чого буде запущено модуль роботи з геометрією *Design Modeler*.

Варто сказати кілька слів про способи управління в графічному вікні програми:

- ЛКМ - відповідає за виділення геометрії;
- СКМ - дозволяє орієнтуватися в просторі і обертати модель;
- ПКМ - дозволяє масштабувати деталь і викликати контекстне меню.

6.1. Активізація вікна підпрограми *Desing Modeler (DM)*, в якому відбувається побудова геометричної моделі:

**/PROJECT SCHEMATIC/ GEOMETRY** (двічі), або правою опцією **NEW GEOMENTRY** у спливаючому вікні /.

*Desing Modeler (DM)* включає:

- *Main Menu* – головне меню;
- *Tree Outline* – дерево геометричної моделі;
- *Graphics* – вікно виводу графіки.

Головним засобом побудови геометричних моделей є використання ескізів (*Sketchs*).

Вибір системи одиниць виміру – систему СІ.

**/MAIN MENU/ UNITS/ METRIC/**.

У вкладці вибрати розміри в мм. **/MM/ UNITS/;**

Поршень буде тілом обертання. Тому першою операцією логічно



виконати операцію обертання.

Далі необхідно буде створити бобишки і інші конструктивні елементи: фаски, камеру згоряння, перемички, вирізи і т.д.

Для створення моделі поршня за допомогою операції обертання необхідно побудувати ескіз. Ескіз буде профілем поршня і віссю обертання

6.2. Розглянемо побудову ескізу поршня.

6.2.1. У дереві моделі ЛКМ *TreeOutline* за робочу площину виберемо *XYPlane*;

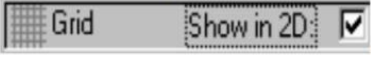
У графічному вікні пунктиром підсвічуються осі X і Y. Щоб перейти в режим редагування ескізу, необхідно вибрати *Sketching* в тому ж вікні. Для ортогональної орієнтації до площини ескізу необхідно вибрати на панелі іконку  або викликати контекстне меню через ПКМ і вибрати  *Look at*, що рівноцінно.

**/mm/ NEWSKETCH/.**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1 (правою)/ LOOK AT FACE/.**


6.2.2. Побудова контуру поршня з розмірами, які задані в вихідних даних:

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ LINE/** 

Для зручності малювання вертикальних і горизонтальних ліній включимо відображення допоміжної сітки за допомогою панелі *Sketching Toolboxes-Settings*, встановивши галочку навпроти *Grid-Show in 2D* 

Під час створення ліній поряд з'являтимуться букви V та H (прив'язки), що визначають просторове положення лінії в ескізі. Буква V показує, що лінія має строго вертикальне положення, а буква H визначає горизонтальну лінію. Щоб припинити створення чергової лінії, необхідно натискати *Escape*.

При створенні профілю потрібно часта зміна масштабу. Зручно використовувати локальне масштабування.

За допомогою ПКМ (затиснувши) виділяємо прямокутну ділянку для необхідного збільшення і відпускаємо кнопку. Для повернення до загального вигляду ескізу використовуємо команду в контекстному меню (через ПКМ) *Zoom to Fit* або натискаємо  на головній панелі.

Командами *Line* креслимо контур поршня, показаний на рис. 4.





*Horizontal* або *Vertical* - горизонтальний або вертикальний розмір відповідно;

*Length/Distance* - довжина або відстань між об'єктами ескіза;

*Radius* або *Diameter* — радіальний або діаметральний розмір відповідно.

Відзначимо, що величина розміру може бути змінений у будь-який час у вікні *Details View* або виконанням команди

### SKETCHING TOOLBOXES/DIMENSIONS/EDIT.

Щоб бачити характеристики розміру необхідно виконати команди **SKETCHING/TOOLBOXES/DIMENSIONS/DISPLAY/** і вибрати відображення імені розміру (*Name*) або значення (*Value*).

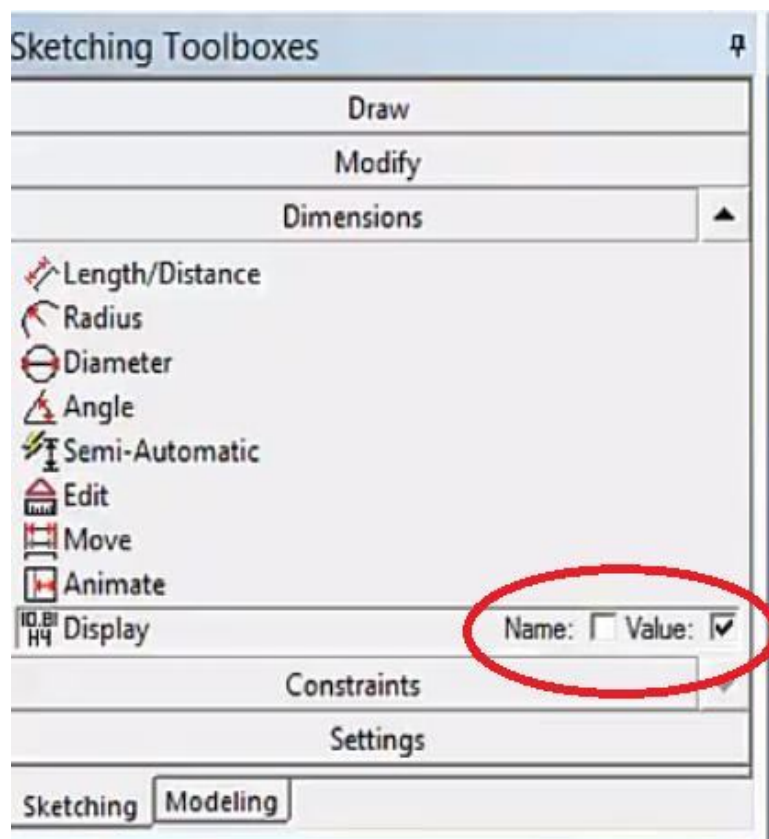


Рис.7 - Характеристики розмірів

Переходимо до меню загального моделювання:

### /TREE OUTLINE/ MODELLING/;

Після того, як був отриманий основний профіль поршня, приступаємо до побудови тривимірної моделі основного тіла.

Для обертання побудованого профілю використовуємо команду «обертання». *Revolve*

### MAIN MENU/REVOLVE/

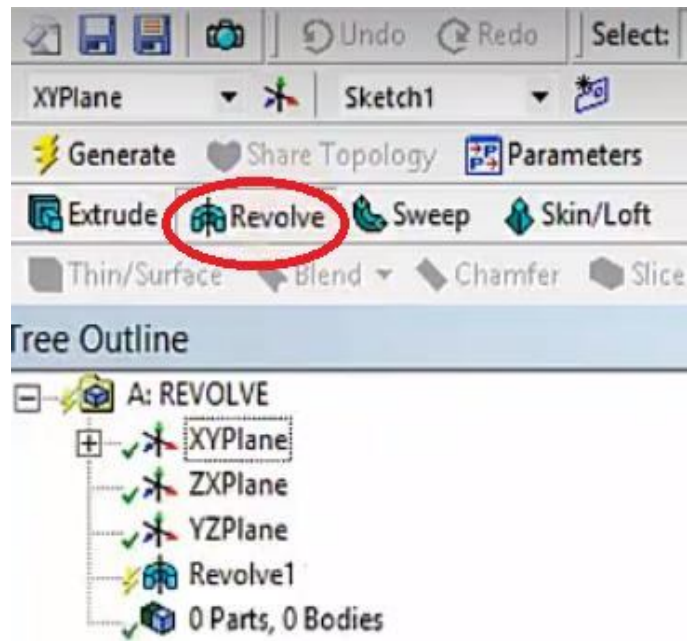


Рис.8 - Команда Revolve

Після вибору якої у вікні *Details View* з'являється вікно налаштувань параметрів операції обертання (рис.9).

В якості базового об'єкта вкажемо створений раніше ескіз. Віссю обертання буде вісь *Y*.

**AXIS** (клік вісь *Y*)/**APPLY**/

Кут обертання 360°

Напрямок –Normal

Всі інші параметри можна залишити тими-ж самими «за умовчанням».

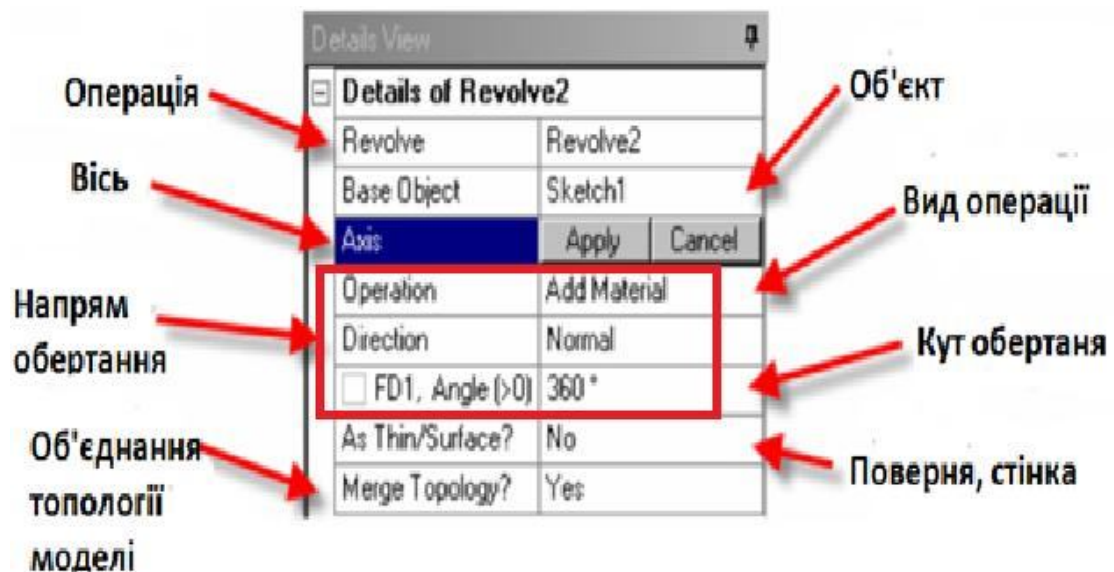
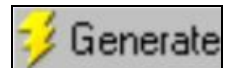


Рис.9 - Налаштування операції обертання

**/GENERATE/** - фіксуємо всі зміни при побудові моделі



Після виконання команди **Revolve** буде отримана деталь, яка зображена на рис.10.

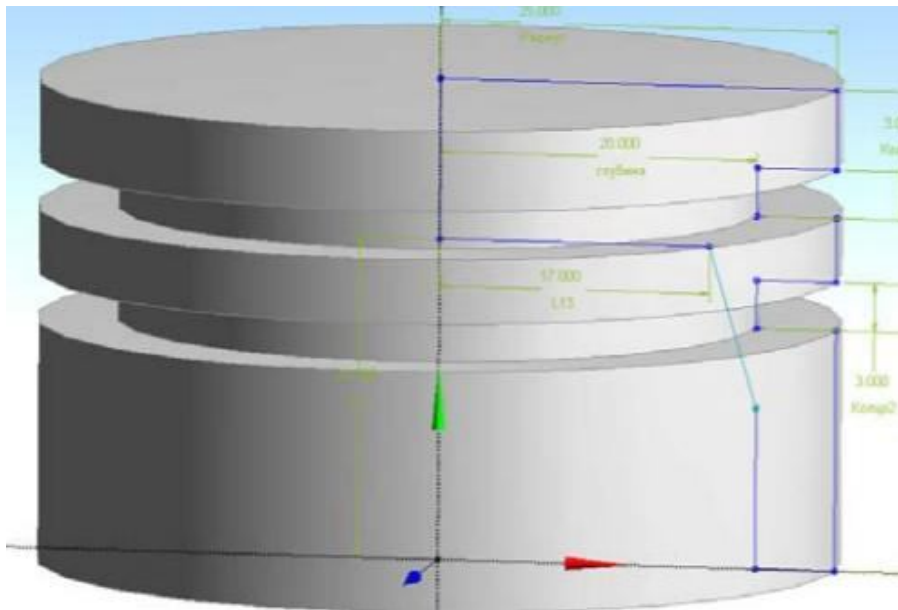


Рис.10 - Результат виконання операції **Revolve**

Наступним етапом створення тривимірної твердотільної моделі поршня є побудова бобишек.

Спершу необхідно побудувати площину, в якій буде побудована бобишка. Ця площина буде зміщена відносно попередньої на деяку величину в напрямку осі Z. Ця величина конструктивна. В нашому випадку зміщення 12 мм.


**NEW PLANE** (  ). З'являється вікно **Details of plane5**.

<b>Details of Plane5</b>	
Plane	Plane5
Type	From Plane
Base Plane	XYPlane
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

Рис.11 - Налаштування вікна при створенні нової площини

*Поступально переміщуємо систему координат вздовж осі Z.*

**DETAILS OF PLANE5/ TRANSFORM1/OFFSET Z(ПКМ)/ VALUE/12MM/ GENERATE/**

На побудованій площині створюємо ескіз, натиснувши ЛКМ іконку нового ескізу  на головній панелі.

Побудова ескізу аналогічно побудові ескізу в операції обертання.

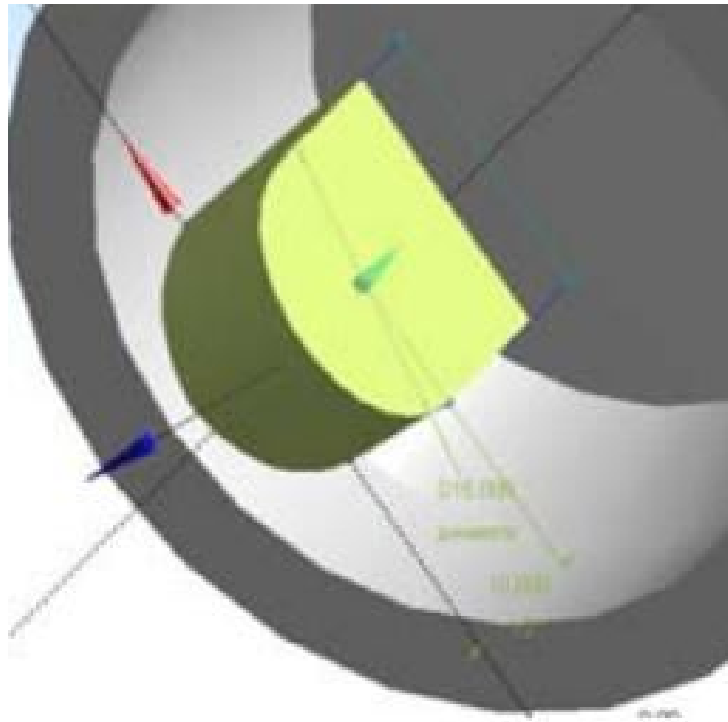



Рис.12 - Ескіз бобишки

**/mm/ NEWSKETCH/;**

**/mm/ TREEOUTLINE/ SKETCH1NG/ DRAW/**

На панелі меню вибираємо кнопку **Extrude**  для видовження побудованого ескізу, при цьому використовуємо опції, що створюють окремий об'єкт (**Add Frozen**). У вікні **DV** задаємо його точну довжину.

Для пункту **Extent Type**, значення якого за допомогою ЛКМ встановлюємо - **To Next**, і пункту **Operation**, значення якого встановлюємо **Add Frozen**. Після виконання операції буде створено 2 різних тіла.

**/GENERATE/ - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.**

Далі необхідно отримати дзеркальну копію побудованої бобишки щодо площині **XYPlane**. Для цього скористаємося командою **Pattern**.

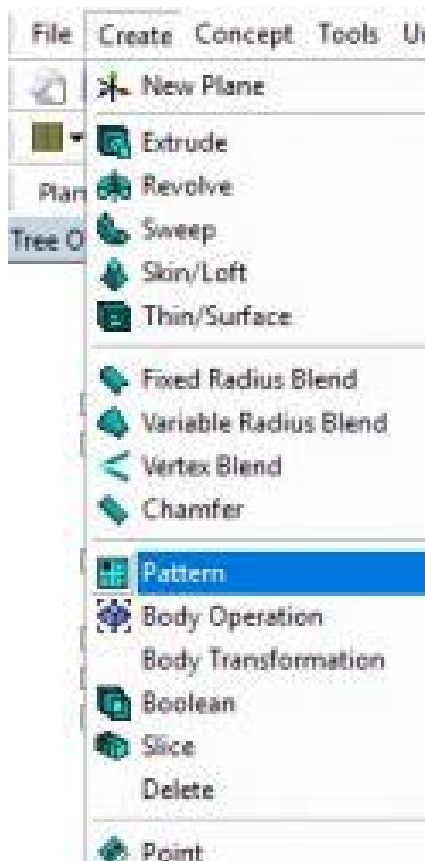


Рис.13 - Команда Pattern.

Налаштування команди здійснимо згідно рис. 14.

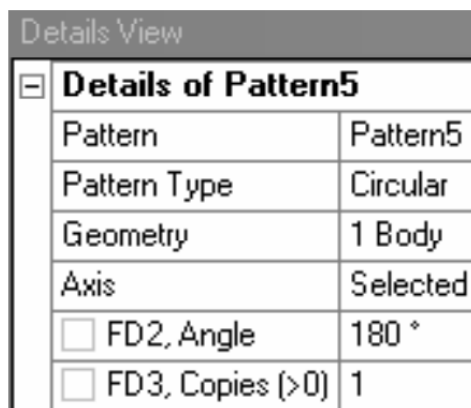


Рисунок 14. Налаштування вікна копіювання бобишки

**/GENERATE/** - фіксуємо всі зміни при побудові моделі.

Після виконання команди будуть отримані 3 тіла. Тепер необхідно здійснити поєднання цих трьох тіл в одне тіло, для чого скористаємося

командою булевої операції  **Boolean**. Для виконання команди необхідно з затиснутою клавішею CTRL виділити три тіла.

**/CREATE/ BOOLEAN/ GENERATE/**.

У вікні **Tree Outline** повинно бути одне тверде тіло (рис. 15).

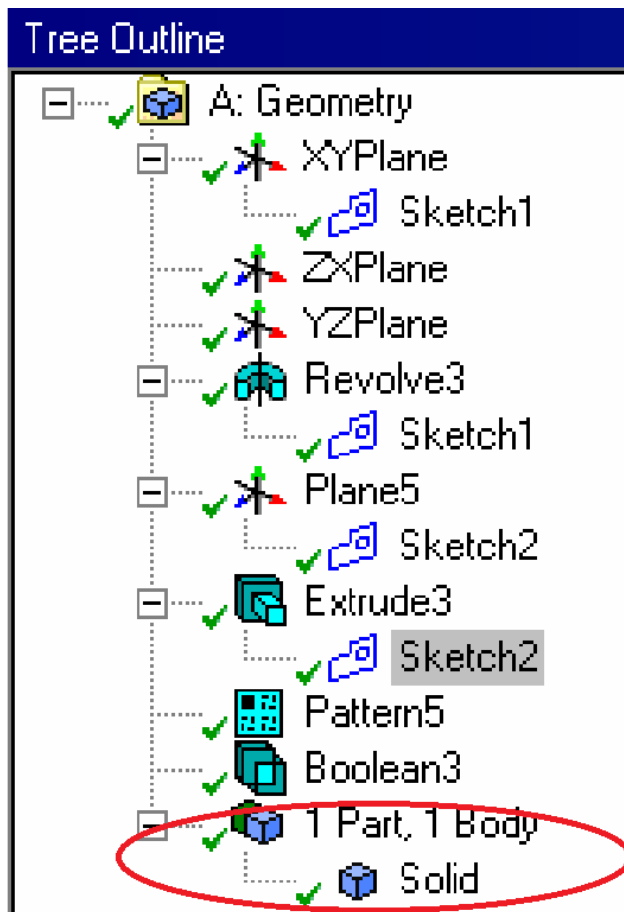


Рис.15 - Вид вікна проекту після об'єднання частин

Побудована модель поршня не містить отвір під поршневий палець. Для побудови отвору під поршневий палець використовується вже знайома команда *Extrude*.

*Будуємо коло в площині XYPlane.*

**/TREE OUTLINE/ SKETCHING/ DRAW/ CIRCLE/** - далі задаємо точні розміри кола та його положення .

*Переходимо до меню загального моделювання :*

**/TREE OUTLINE/ MODELLING/;**

*Будуємо отвір у попередній тривимірній моделі шляхом екструзії Sketch2.*

**/mm/ EXTRUDE/** . При цьому потрібно задати опції вирізання (Cut) матеріалу із існуючої заготовки:

**/DETAILS VIEW/ OPERATION/ CUTMATERIAL/.**

**/DIRECTION/BOTH/SYMMETRIC/EXTENT TYPE/THROUGH ALL/**

*Запоминаємо всі проведені побудови:*

**/mm/ GENERATE/.**



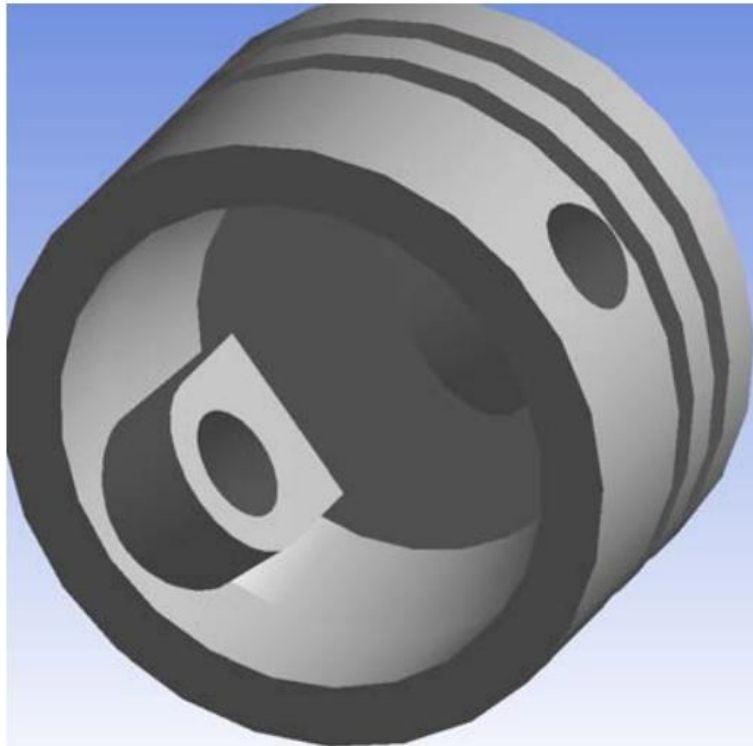



Рисунок 16. Побудована модель поршня

Для виконання операції фаски вибираємо в головному вікні команду  Chamfer

**/MAIN MENU/ CHAMFER/**


**Вибираємо, натиснувши клавішу Ctrl два нижніх ребра поршня, що знаходяться на юбці**

**/DETAILS VIEW/GEOMETRY/APPLY.**

**TYPE /LEFT-ANGLE.**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

Для виконання операції округлення вибираємо в головному вікні команду  Blend. Для цього служить команда, яка дозволяє вибрати як постійний радіус округлення **Fixed Radius Blend**, так і змінний - **Variable Radius Blend**.

**MAIN MENU/BLEND/**

**Запоминаємо всі проведені побудови:**

**/mm/ GENERATE/**

**/SAVE/ - готового проекту.**

**По ходу виконання проекту для формування звіту потрібно зберегти у файлах копії поточних рисунків.**



## Результати

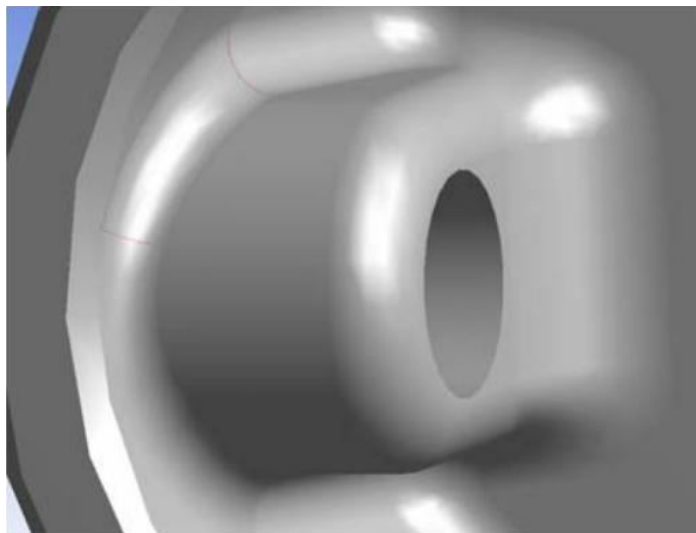


Рис.17 - Вид на внутрішню частину поршня після застосування операцій округлення і фаски

### Контрольні питання:

1. Яким способом можна задати конкретні розміри деталей?
2. Які пункти меню дозволяють змінювати проекції деталі, масштабувати та корегувати ескізи?
3. Опишіть контекстне меню **Design Modeler** при побудові ескізу.
4. За допомогою виконання якої команди можна побудувати відображення значень розмірів на екрані?
5. За допомогою яких команд можливо набудувати **СЕМ** в програмному середовищі **Ansys Workbench**?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство пользователя ANSYS. Краткий курс Краткое описание основ в Ansys. -26 с.
2. Бруяка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. - Учебное пособие. - Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2010. - 271 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах Под общ. ред. Д. Г. Красковского. - М: КомпьютерПресс, 2002. -224 с: ил.
4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя М.: ДМК Пресс, 2005. - 640 с.: ил.
5. Огородникова О. М. Компьютерный инженерный анализ в среде ANSYS Workbench [Электронный ресурс] // Екатеринбург: Техноцентр компьютерного инжиниринга УрФУ. 2018. 350 с.
6. Глинкин С. А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / С. А. Глинкин; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 107 с

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Моделювання НДС вала трансмісії зі шліцами.....	4
Побудова твердотільної моделі поршня засобами ANSYS WORKBENCH.....	12
Література .....	26

**РОЗРАХУНКИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МАШИН.  
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАНСМІСІЇ ТА ДВЗ**

Методичні вказівки  
до проведення практичних занять

**Укладачі:**

**ГРИЩЕНКО** Володимир Миколайович,  
**СВІРГУН** Ольга Анатоліївна  
**КАЛІНІН** Євген Іванович,  
**САВЧЕНКО** Володимир Борисович,

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Умов. друк. арк. 1,63  
Наклад 100 примірників.

---

Віддруковано у друкарні ФОП Заночкин Д.Л.  
м. Харків, вул.Плеханівська, 16.  
Зам. 0305/2019. тел. 757-93-82.