

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ И НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Одеська політехніка»

Методичні вказівки  
до лабораторної роботи №2  
«Кінцеве елементне розбиття моделі»  
з дисципліни «Проектування в CAD / CAE»

Одеса, 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ И НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Одеська політехніка»  
Кафедра «Кафедра цифрових технологій в інжинірингу»

Методичні вказівки  
до лабораторної роботи №2  
«Кінцеве елементне розбиття моделі»  
з дисципліни «Проектування в CAD / CAE»

Затверджено  
на засіданні кафедри  
Кафедра цифрових технологій в інжинірингу  
Протокол № 1 від 31.08.2023 р.

Одеса, 2023

Методичні вказівки до лабораторної роботи №3 «Кінцеве елементне розбиття моделі» з дисципліни «Проектування в CAD / CAE» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка / Укладачі: В.М. Жеглова, О.А Волков, Одеса: ОНПУ, 2023. - 23 с.

Автори: В.М. Жеглова, канд. техн. наук, доцент.

О.А Волков, ст. викладач.

## ЗМІСТ

1. Формування геометрії моделі .....	3
2. Design Modeler .....	5
3. SpaceClaim .....	9
4. Імпорт моделей .....	10
5. Вибір координатної системи .....	11
6 Налаштування MESH .....	14
7 Локальна зміна сітки .....	16
8 Генерація регулярної сітки .....	19
9 Помилки при генерації сітки .....	20
10 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ: .....	21
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	23

Лабораторна робота №2 «Кінцеве елементне розбиття моделі»

**Метою роботи є:** вміти призначати рівномірну и не рівномірну кінцево елементну сітку, змінювати тип елементів, призначати локальних згущення сітки.

### 1. Формування геометрії моделі

ANSYS є засобом, за допомогою якого створюється CAD-модель конструкції. CAD моделювання за допомогою ANSYS проходить наступні етапи: побудова геометричної моделі, вибір типу кінцевих елементів, побудова кінцево-елементної сітки, завдання

властивостей матеріалів, вибір типу аналізу, додаток навантажень, завдання граничних умов, розрахунків і аналіз результатів [1].

Етап побудови геометричної моделі реалізується елементом Geometry (рис.2.1). Геометрична модель створюється в модулі Design Modeler або Space Claim, що дозволяють підготувати модель до інженерного аналізу в ANSYS, і є зручним для початківця дослідника.

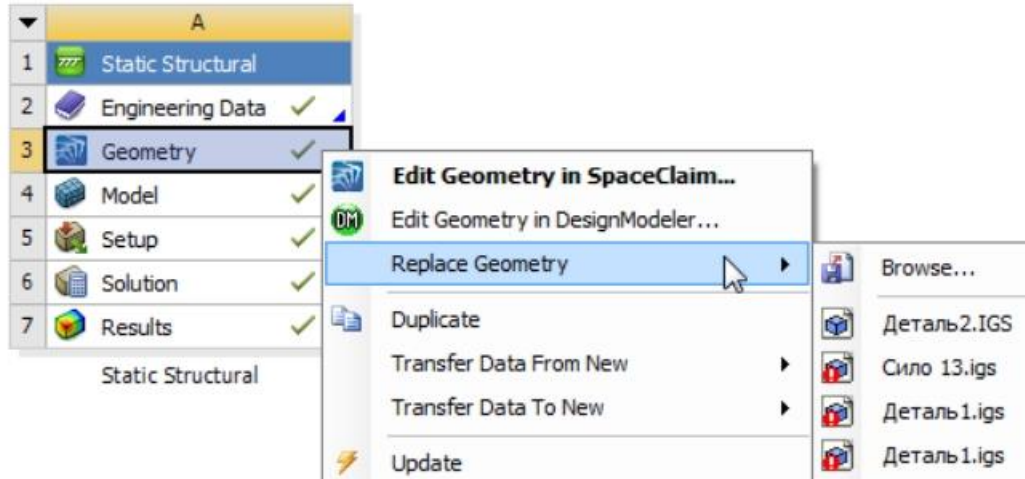
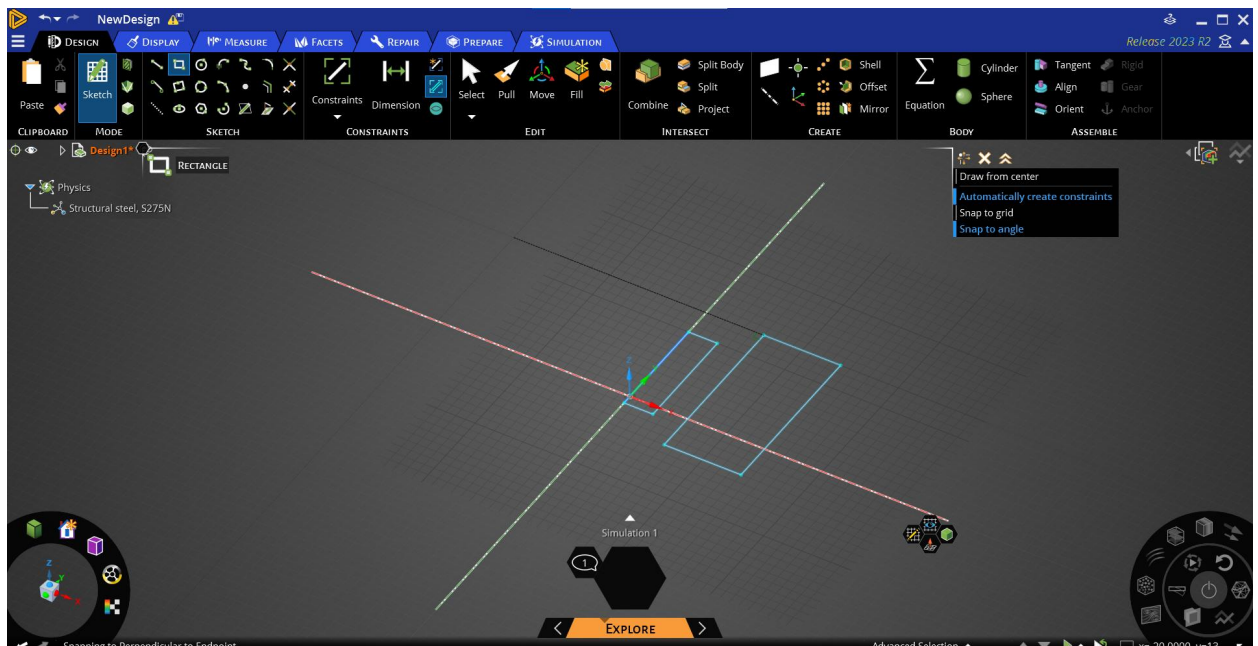


Рисунок 2.1 – Модуль статичного розрахунку

Перед побудовою або імпортом геометричної моделі можна, клікнувши правою кнопкою миші (ПКМ) на елементі Geometry, змінити його настройки, які відображаються у вікні властивостей Properties. У групі Basic Geometry Options можна вибрати типи геометричних об'єктів, атрибути, параметри, іменовані групи виділення, властивості матеріалів, які будуть передаватися при імпорті моделі, в групі Advanced Geometry Options можна задати спеціальні настройки: вказати тип моделювання (за замовчуванням вибрано 3D тривимірне моделювання), взаємозв'язок з наявною CAD-системою, можливість імпорту координатних систем разом з геометричною моделлю і інші. Ці опції задаються, як правило, на початку роботи з проектом.

Після того як новий інженерний аналіз створений, можна приступати до побудови геометричної моделі. Для цього, клікнувши правою кнопкою миші (ПКМ) на рядку Geometry, викликаємо контекстне меню, в якому потрібно вибрати пункт New Geometry або імпортувати геометрію з іншої CAD-системи (рис. 2.1).

В Workbench можливо обрати геометричний моделювальщик: Design Modeler або Space Claim; після закінчення завантаження буде виведено його основне вікно, показане на рис. 2.2.



## 2. Design Modeler

Файл геометричної моделі, створений в Design Modeler, має розширення .agdb. Якщо в подальшому потрібно видалити імпортовану геометрію з проекту, потрібно в контекстному меню вибрати пункт Reset.

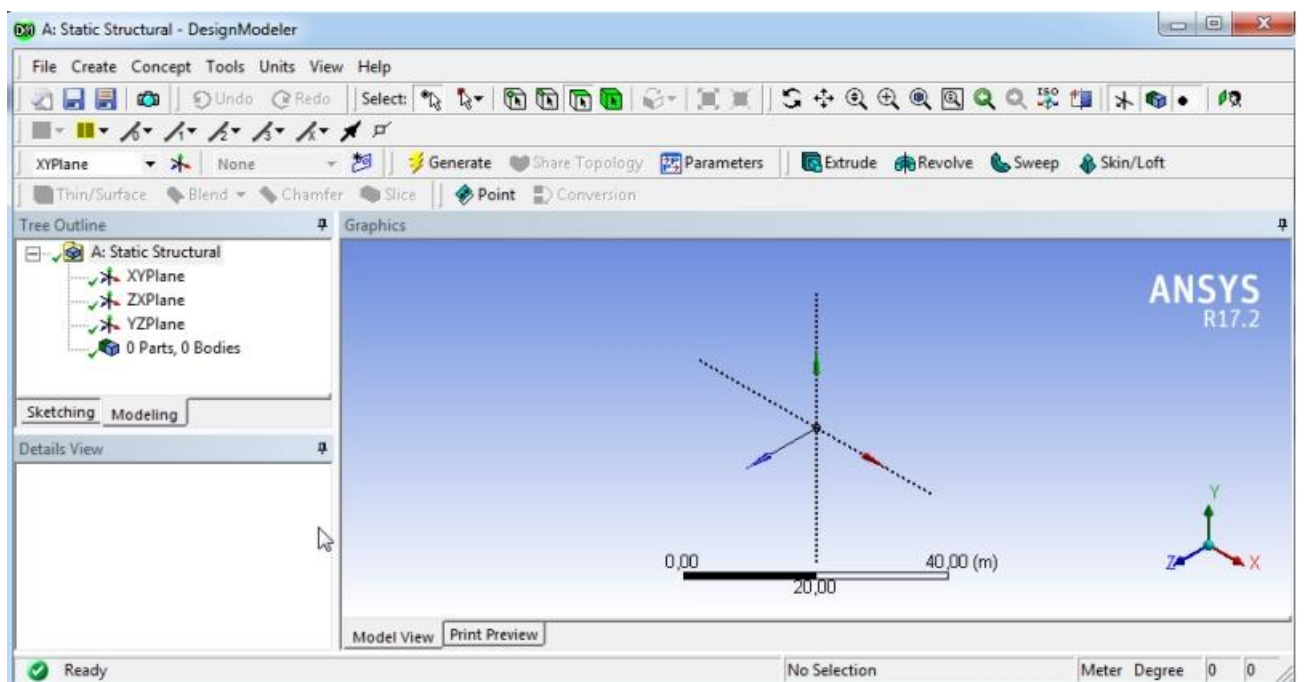


Рисунок 2.2 – Інтерфейс модуля Design Modeler

Створення будь-якої геометричної моделі починається з вибору координатної площини для первинних побудов. Після цього на обраній площині створюється ескіз, що складається з точок і ліній, що представляє собою прообраз моделі або будь-якої її частини. Надалі до ескізу можна застосовувати різні операції і отримувати на його основі

тривимірні об'єкти. Відповідно до цього модуль Design Modeler працює в двох режимах: режимі ескізування (Sketching) - коли створюється або редагується ескіз, і режимі моделювання (Modeling) - коли виконуються різні операції з ескізом для отримання об'ємних тіл. Перемикання між зазначеними режимами виконується вибором однойменних закладок в нижній частині вікна дерева побудови.

Основне вікно Design Modeler (рис.2.2.) включає такі основні елементи: головне меню і панелі інструментів. Дозволяють управляти роботою модуля і містять команди для роботи з геометричною моделлю. Панелі інструментів надають швидкий доступ до найбільш важливим або часто використовуваних команд;

–дерево побудови (Tree Outline). Містить ієрархічну послідовність команд побудови геометричної моделі;

– вікно властивостей виділеного елемента (Details View). Відображає різні настройки виділених об'єктів або команд моделювання;

–вікно моделі (Graphics). Відображає поточний результат моделювання.

Головне меню містить наступні пункти:

- File дозволяє виконувати основні операції з файлами геометрії;
- Create дозволяє створювати і модифікувати тривимірні об'єкти;
- Concept містить інструменти для створення ліній і поверхонь;
- Tools містить набір інструментів для обробки поста тривимірних моделей, а також дозволяє задавати настройки модуля і управляти параметризацією моделі;
- View дозволяє задавати настройки відображення геометричної моделі;
- Help дає доступ до довідкової системи по модулю Design Modeler.

Дерево побудови (Tree Outline) є найважливішим інструментом моделювання і дозволяє представляти в зручному вигляді послідовність створення геометричної моделі (рис. 2.3). У дереві побудови відображені всі операції в тому порядку, в якому вони застосовувалися для створення геометрії. Деякі команди можуть бути супідрядними, тобто результат виконання однієї є вихідним для іншої. За замовчуванням нові команди додаються в кінець дерева побудови, проте користувач може вставляти їх між уже існуючими. Це досягається шляхом вставки команди за допомогою контекстного меню, що викликається на необхідному місці вставки.

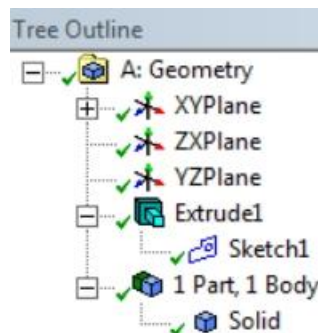


Рисунок 2.3 – Дерево побудови

Використовується звичайна прямокутна система декартових координат  $OXYZ$ , при цьому кожна вісь має власний колір: вісь  $x$  червоний, вісь  $y$  зелений, вісь  $z$  синій.

У режимі ескізування вікно дерева побудови (Tree Outline) змінюється на вікно інструментів ескізування (Sketching Toolboxes), яке містить наступні групи:

Draw інструменти малювання ескізу;

Modify інструменти редагування ескізу;

Dimensions завдання розмірів ескізу;

Constraints інструменти для завдання обмежень і геометричних залежностей між елементами ескізу;

Settings - налаштування сітки в ескізі.

Рекомендується наступний загальний порядок побудови ескізу: за допомогою інструментів малювання зобразити ескіз, не враховуючи розміри його окремих елементів. При цьому можуть знадобитися інструменти з групи Modify для редагування геометричних об'єктів або Constraints для завдання обмежень. Після того як загальний контур ескізу створений, потрібно задати йому необхідні розміри і завершити побудову ескізу натисканням кнопки Generate.

Перш ніж малювати ескіз, можна задати сітку із заданими параметрами, що відображається у вікні побудови. З її допомогою легко створювати геометричні об'єкти необхідних розмірів, орієнтуючись по осередках сітки. При побудові геометричних об'єктів буде активна прив'язка курсора до вузлів сітки, також можна налаштувати додаткові позиції прив'язки всередині осередку.

Design Modeler реалізує стандартні команди для малювання найпростіших елементів ескізу. Коротка характеристика команд групи Draw представлена в наступному переліку:

Простий відрізок (Line). Дозволяє побудувати відрізок шляхом вказівки початкової і кінцевої точки;

Відрізок, дотичний до об'єкта (Tangent Line). Дозволяє побудувати відрізок по дотичній до заданого об'єкта в обраній точці. Натиснувши і утримуючи ліву кнопку миші на потрібній точці об'єкта, потрібно перетягнути покажчик до кінцевої точки відрізка;

Відрізок, дотичний до двох об'єктах (Line by 2 Tangents). Аналогічно попередній команді будуватиметься відрізок по дотичній до двох вибраних об'єктів;

Полилінія (Polyline). Дозволяє побудувати ламану лінію. Після побудови останньої ланки ламаної потрібно завершити команду, викликавши натисканням правої кнопки миші контекстне меню і вибравши пункт Open End. Якщо потрібно замкнути ламану, то потрібно вибрати пункт Closed End;

Багатокутник (Polygon). Дозволяє побудувати правильний багатокутник з заданим числом кутів. Для побудови потрібно вказати лише його центр і поставити число кутів в параметрі n;

Прямокутник (Rectangle). Дозволяє побудувати прямокутник, вказавши дві крайні точки його діагоналі. Для побудови прямокутника по трьох точках потрібно вибрати команду Rectangle by 3 Points;

Овал (Oval). Дозволяє побудувати фігуру, обмежену двома паралельними відрізками і дотичними до них дугами кіл. Для побудови необхідно вказати центри дуг кіл і їх радіус;

Коло (Circle). Дозволяє побудувати коло, вказавши її центр і радіус. Для побудови кола, дотичній до трьох об'єктах, необхідно скористатися командою Circle by 3 Tangents;

Дуга (Arc by Tangent). Дозволяє побудувати дугу, дотичну до заданого відрізка в початковій і кінцевій точках. Для побудови необхідно задати початкову і кінцеву точки відрізка, при цьому має значення послідовність їх вказівки. Також дугу можна побудувати за трьома її точках (Arc by 3 Points) або вказавши центр дуги і дві її точки (Arc by Center);


Еліпс (Ellipse). Дозволяє побудувати еліпс, вказавши його центр і дві точки;

Гладка крива (Spline). Дозволяє побудувати криву, вказуючи її характерні точки перегину або округленими. Порядок побудови аналогічний команді Polyline. Для завершення команди потрібно викликати контекстне меню і вибрати один з наступних пунктів: незамкнута крива (Open End), незамкнута крива з характерними точками (Open End with Points), замкнута крива (Closed End), замкнута крива з характерними точками (Closed End with Points );

Геометрична точка (Construction Point). Дозволяє задати точку для геометричних побудов. Якщо потрібно задати точку, яка є перетином двох кривих, то потрібно вибрати команду Construction Point at Intersection, після чого вказати на пересічні об'єкти.

Вибір команди побудови здійснюється натисканням на неї лівою кнопкою миші у вікні інструментів ескізування (Sketching Toolboxes). Для скасування вибору потрібно натиснути клавішу Esc.

На панелі Select здійснюється спосіб вибору об'єктів (Box Select або Single Select), а також

розташовуються кнопки для вибору точок, прямих, поверхонь і тіл . Як вибрати декілька об'єктів здійснюється за допомогою лівої кнопки миші і натиснутою клавіші Ctrl на клавіатурі. У Workbench є можливість працювати з трьома типами тіл: Solid Body - обсяг і поверхні, Surface Body - тільки поверхні, Line Body - тільки лінії. За замовчуванням при імпорті геометрії в Workbench кожне тіло буде додано до свого Part. Можна створювати нові Parti або розбивати Parti на окремі тіла.

Part - це сукупність тіл із загальною топологією на внутрішніх кордонах. При цьому сітка на стику тел буде спільною. Об'єднання тел в Part необхідно, наприклад, в разі розрахунку гідродинаміки в CFX, інакше необхідно ставити умови на стиках тел.

У Workbench є різне уявлення тіл. Подання Material (active body) - такі тіла можуть бути використані для всіх операцій з тілами, крім Slice. Подання Frozen на такі тіла не діють операції над тілами, крім операції Slice. При цьому можна "заморожувати" (Freeze) і "розморозувати" (Unfreeze) тіла.

У модуль Design Modeler доступний ряд булевих функцій для створення тривимірних моделей (рис.2.4).



Рисунок 2.4 – Функції створення тривимірних моделей в Design Modeler

Доопрацювати модель можна розділивши її позовжніми розрізами за допомогою операції Slice на кілька тіл.

Виконання кожної операції підтверджується кнопкою "Generate".

Для зручності постановки граничних умов і умов на стиках обсягів в меню Tools при виконанні гідродинамічних розрахунків можна використовувати функцію найменування геометричних об'єктів Named Selection.

Операція Suppress робить тіло невидимим і не дозволяє його передавати далі по проекту для створення сітки та виконання розрахунку. Такі тіла також не експортуються з WB в твердотільні моделі.

Для виправлення і спрощення геометричних моделей існує зручна опція Merge, яка дозволяє об'єднувати поверхні тривимірних об'єктів.



### 3. SpaceClaim

Програмний модуль ANSYS SpaceClaim Direct Modeler (SCDM) (рис.2.5) дозволяє виконувати тривимірне геометричне моделювання, створювати і редагувати параметричні моделі на основі підходу, відомого як «пряме моделювання» (Direct Modelling). Даний підхід не використовує дерево побудови об'єкта, що дозволяє вносити зміни безпосередньо, без перестроювання геометрії з історії, що значно прискорює процес редагування при роботі з великими складаннями.

Для встановлення іншої мови треба зайти в налаштування (Options Space Claime) і обрати його, але це потрібно робити після кожного запуску (рис.2.5).

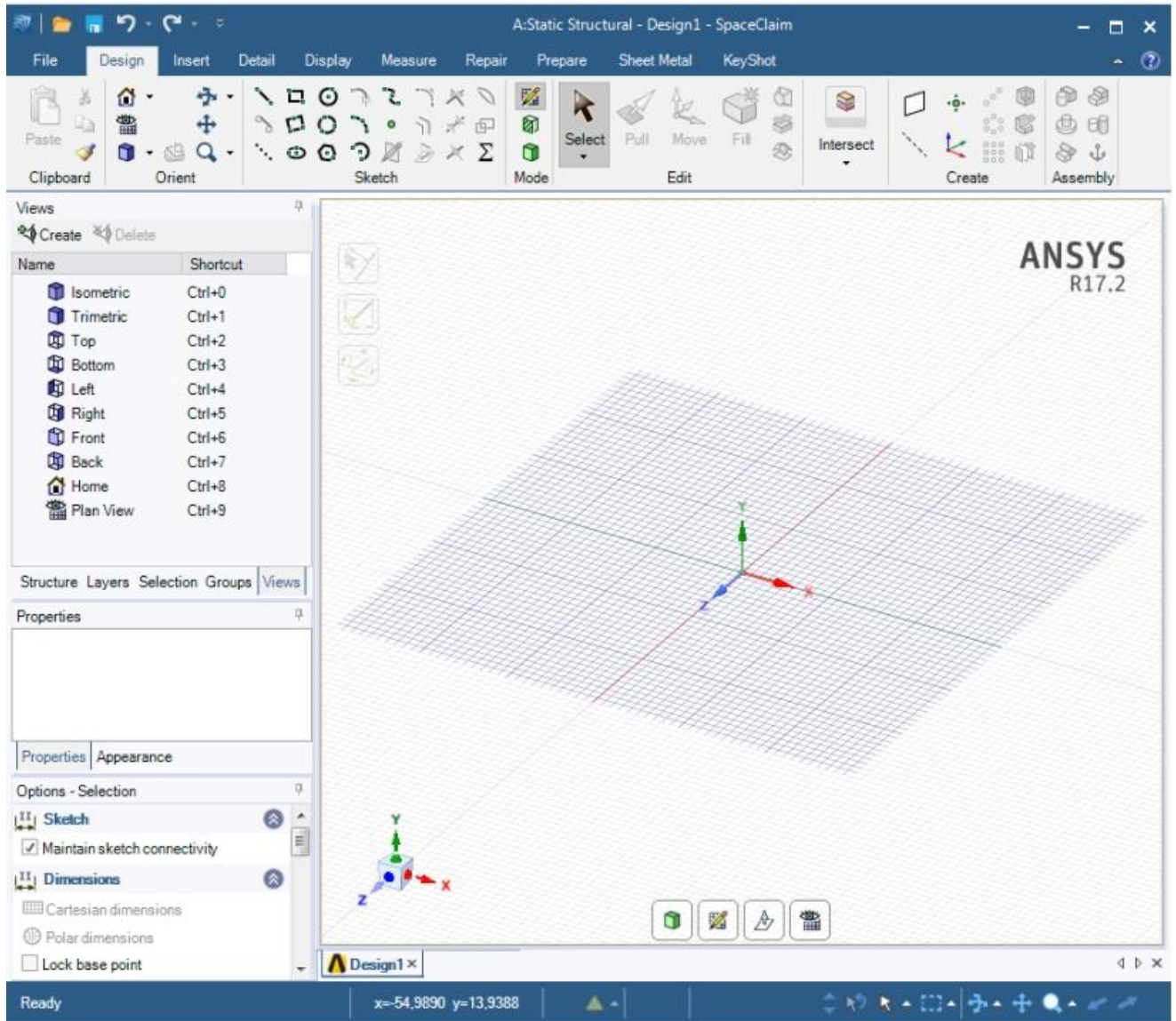


Рисунок 2.5 – Інтерфейс модуля Space Claime

Рисунок починається з вибору площини, де буде розташовано перший ескіз (Sketch). За допомогою меню Edit отримуємо об'ємне тіло, використовуючи витягування (Pull) або оберт навколо вісі (рис.2.6). Використовуючи залежності для декількох деталей можемо отримати складання в меню Assembly.

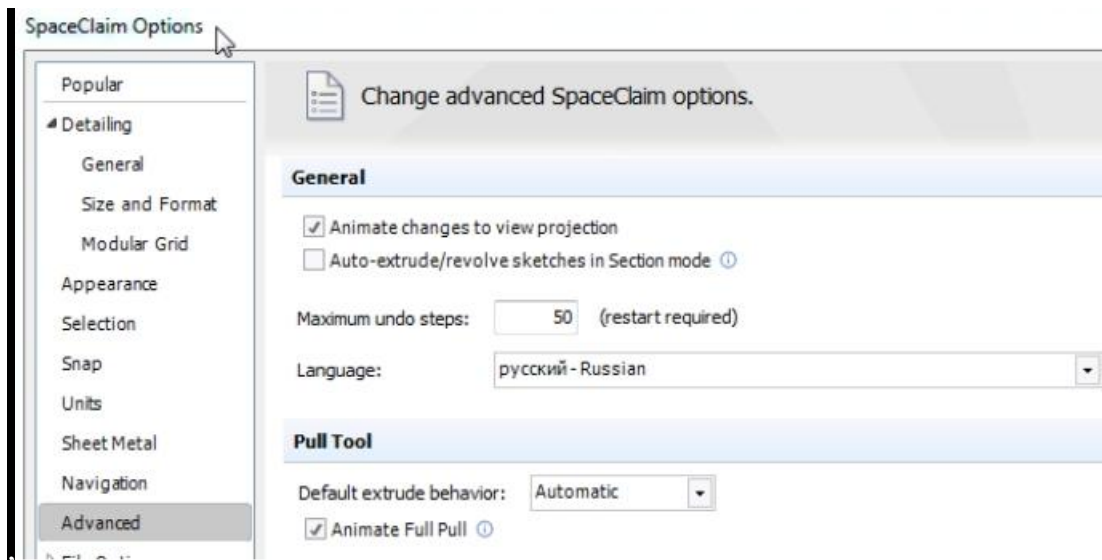


Рисунок 2.6 – Налаштування (Options Space Claime)



Рисунок 2.7 – Меню побудови деталі

#### 4. Імпорт моделей

В ANSYS реалізований прямий доступ до геометричних моделей CAD-систем: Pro / Engineer, Unigraphics, AutoCAD, Solid Edge, Solid Works.

ANSYS надає імпорт моделей з CAD-систем в форматах: Parasolid, ACIS SAT, IGES.

ANSYS надає можливість розробки користувачем інтерфейсу до будь-якої програмі.

Якщо геометрична модель вже створена раніше за допомогою Design Modelera або в якої-небудь CAD-системі, то її можна імпортувати, вибравши пункт меню Import Geometry (рис.2.7). ANSYS підтримує безліч популярних форматів геометричних моделей, таких як: Parasolid (.xb, .xt), IGES (.iges, .igs), SolidWorks (.SLDPRT, .SLDASM), Unigraphics NX (.prt), Inventor (.ipt, .iam), Pro / Engineer (.prt, .asm), ACIS (.sat) та інші.

При імпортуванні геометричні моделі доводиться зазвичай допрацьовувати або повністю переробляти перед виконанням чисельного моделювання. Це пояснюється тим, що геометричні моделі зазвичай створюються не з метою виконання розрахунків, а як один з етапів розробки деталі або будь-якого пристрою. Тому такі моделі містять деталі, що виготовляється. Розрахункова геометрична модель не повинна містити всіх подробиць, які ускладнюють розрахунок або роблять його нездійсненним. Перед тим, як виконати імпорт геометричної моделі в розрахунковий модуль, необхідно вибрати тип аналізу 2D або 3D, а також типи імпортованих об'єктів лінії, поверхні, тривимірні тіла.

Існує як мінімум два способи імпортування геометричної моделі в розрахунковий модуль або модуль геометрії.

Перший спосіб - необхідно кликнути лівою кнопкою миші по "Geometry" (рис.2.8). Далі в контекстному меню вибирається Import geometry → Browse для пошуку файлу з

моделлю. Другий спосіб полягає в тому, що необхідно запустити Design Modeler імпортувати файл з геометричною моделлю за допомогою File → Import external geometry file.

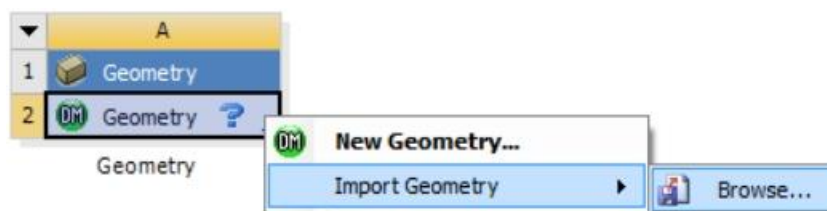


Рисунок 2.8 – Імпорт геометричної моделі

Геометрія імпортованої моделі відкривається в модулі Design Modeler, в якому правою кнопкою вибираємо контекстне меню елемента "Import" у дереві моделі і натискаємо Generate.

Вибрати тип аналізу 2D (3D) необхідно до початку роботи, так як якщо відкрити будь-яку підсистему до цього, тип аналізу буде зафіксований і поміняти його в даному модулі буде неможливо.

Осесиметричні завдання зручно вирішувати саме в двовимірній постановки. Такий підхід дозволяє істотно заощадити час і обчислювальні потужності без істотних втрат якості результатів. В даному випадку для створення сітки необхідно з тривимірною геометричною моделлю спочатку отримати плоске перетин.

Обертання, переміщення об'єктів на екрані здійснюється наступним чином. Середньою кнопкою миші (натискає коліщатком) - обертання, Ctrl + Середня кнопка миші - переміщення об'єктів. Або ж можна вибрати режим курсору миші на панелі інструментів.

Ви можете отримати кінцево-елементну модель в редакторі середовища FEA декількома способами.

- Створити твердотільну, поверхневу КЕ мережу автоматично з твердотільної САД моделі.
- Нарисувати або автоматично отримати двовимірні КЕ мережі. Хоча плоска КЕ мережу обмежена ескізами в площині, вихідна площина може бути будь-якої орієнтації. Використовуйте ці мережі для побудови двовимірних або плоских КЕ мереж.
- Створити структурні КЕ мережі з вузлів ребер деталі або між об'єктами ескізу.
- Створити додаткові сполучні КЕ мережі для згаданих вище. Щоб створити додаткові мережі, використовуйте операції копіювання, видавлювання (екструзії), модифікації утворюють ліній. Наприклад, уявіть двовимірний ескіз, який розбивається на кінцеві елементи, щоб отримати плоску пластину. У разі вибору периметр і видавлений, вийде коробка бокс (типу труби або корпусу). Якщо обрана вся двовимірна КЕ мережу і витіснена, то утворюється об'ємна КЕ-мережу.
- Створити лінійні КЕ моделі типу балки або ферми або приєднати лінійні елементи до геометрії, створеної будь-яким іншим способом.

## 5. Вибір координатної системи

Для коригування напрямків навантажень і обмежень в дереві проекту необхідно вибрати позицію Coordinate Systems. За замовчуванням пропонується глобальна декартова координатна система, яка не може бути змінена (рис. 2.9). Глобальну систему координат

можна розглядати як абсолютну систему відліку. Доступні три зумовлені глобальні системи: декартові, циліндричні і сферичні. Вони позначаються номерами їх координат (CS): 0 для декартових, 1 і 5 для циліндричних і 2 для сферичних.

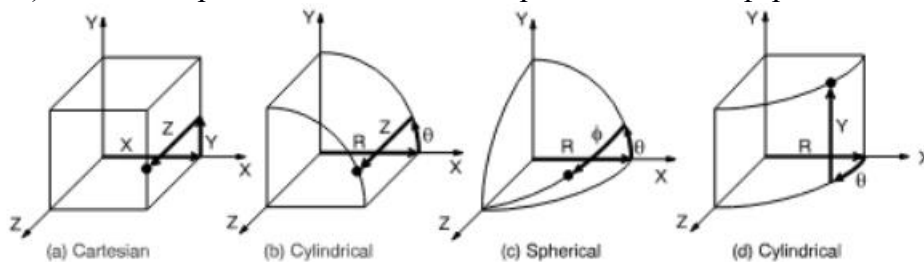


Рисунок 2.9 – Глобальні системи координат

Для того щоб створити власну координатну систему, необхідно вибрати позицію Coordinate Systems в дереві проекту і натиснути кнопку на панелі інструментів (рис. 2.10). Альтернативний спосіб створення координатної системи викликати контекстне меню на позиції Coordinate Systems, в якому вибрати пункт Insert Coordinate System.

Призначені для користувача системи координат, відомі як локальні системи координат, можуть бути створені наступними способами:

Command (s): LOCAL

GUI: Utility Menu> WorkPlane> Local Coordinate Systems> Create Local CS> At Specified Loc

Визначте локальну систему з точки зору існуючих вузлів.

Command (s): CS

GUI: Utility Menu> WorkPlane> Local Coordinate Systems> Create Local CS> By 3 Nodes

Визначте локальну систему з точки зору існуючих точок.

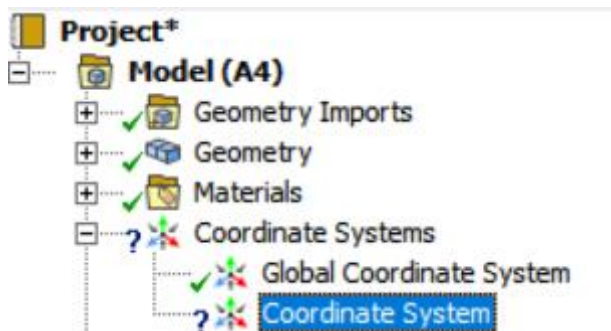


Рисунок 2.10 – Coordinate Systems

Щоб перейменувати власну координатну систему, необхідно натиснути правою кнопкою миші на позицію Coordinate Systems в дереві проекту, вибрати команду Rename і задати ім'я нової координатної системи.

Параметри створеної системи координат задаються у вікні деталізації (рис. 2.9), яке розташоване в лівому нижньому куті екрану. При цьому можливі два варіанти орієнтації нової системи (опція Define By):

- Geometry Selection щодо будь-якого геометричного об'єкта, який вказується в параметрі Geometry;

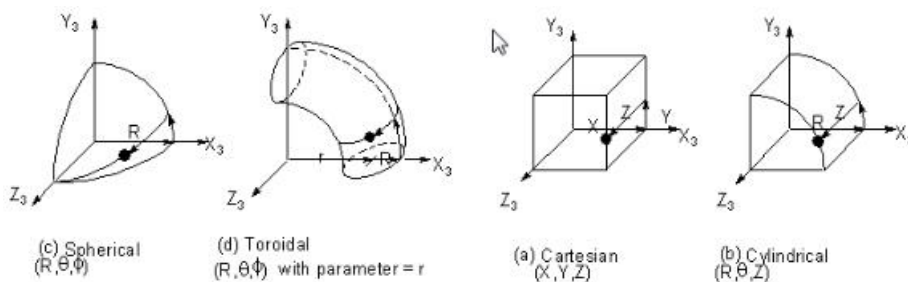
- Global Coordinates щодо глобальної системи координат; в цьому випадку явно вказуються координати точки відліку (Origin) нової системи.

При орієнтації нової координатної системи по геометричному об'єкту необхідно вибрати за допомогою миші точку, лінію, поверхню або обсяг, щодо яких вона буде орієнтована, і, клікнувши на параметрі Geometry, підтвердити свій вибір, натиснувши кнопку Apply.

Напрямок координатних осей системи координат може бути змінено в розділах Principal Axis і Orientation About Principal Axis вікна деталізації (рис.2.11).



Рисунок 2.11 – Редагування системи координат



а

б

в

г

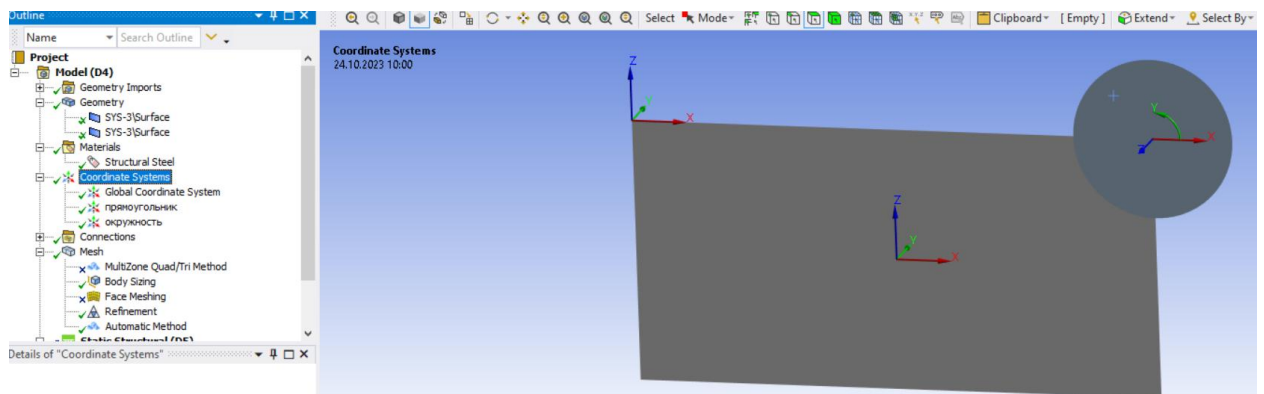


Рисунок 2.12 – Системи координат локальні

Ви можете визначити стільки систем координат, але тільки одна з цих систем може бути активною одночасно. Вибір активної системи координат визначається наступним чином: за замовчуванням стоїть глобальне декартова система активна за замовчуванням. Кожен раз, коли ви створюєте локальну систему координат, декартова система автоматично стає активною. Якщо ви хочете активувати одну з глобальних систем координат або будь-яку іншу раніше певну систему координат, використовуйте один з наступних способів:

Command (s): CSYS

GUI: Utility Menu> WorkPlane> Change Active CS to> Global Cartesian

Utility Menu> WorkPlane> Change Active CS to> Global Cylindrical

Utility Menu> WorkPlane> Change Active CS to> Global Spherical

Utility Menu> WorkPlane> Change Active CS to> Specified Coord Sys

Utility Menu> WorkPlane> Change Active CS to> Типи систем координат Working Plane

При побудові дискретної моделі безперервної величини надходять у такий спосіб:

1. У області фіксується кінцеве число точок. Ці точки називаються вузловими точками або просто вузлами.

2. Значення безперервної величини в кожній вузловій точці вважається змінної, яка повинна бути визначена.

3. Область визначення безперервної величини розбивається на кінцеве число підобластей, які називаються елементами. Ці елементи мають загальні вузлові точки і в сукупності апроксимують форму області.

Метод скінченних елементів (МСЕ) - один з основних методів вирішення завдань будівельної механіки, механіки деформованого твердого тіла, теплопровідності, гідромеханіки і ін. Суть методу полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченним числом ступенів свободи сукупністю простих елементів, що мають кінцеве число ступенів свободи і пов'язаних між собою в вузлових точках.

## 6 Налаштування MESH

Meshing (пункт Mesh в розділі Component Systems) - багатофункціональний сітковий препроцесор, який дозволяє генерувати високоякісні розрахункові сітки в автоматичному режимі для різних типів інженерного аналізу. Модуль надає широкий набір інструментів для побудови розрахункових сіток на основі трикутних і чотирикутних елементів для 2D-моделей і на основі тетраедрів, гексаедр або пірамідальних елементів для 3D-моделей. У програмі закладені алгоритми для побудови структурованих і неструктурованих розрахункових сіток, а також можливості якісного вирішення розрахункової сітки поблизу твердих стінок і інших особливостей моделей, що особливо важливо для гідродинамічного аналізу.

Побудовану геометричну модель необхідно розбити на кінцеві елементи (KE), тобто, створити KE сітку. У дереві натискаємо на Model → Mesh. Натискаємо правою кнопкою миші (ПКМ) на Mesh → Insert → Method. Вибираємо потрібну поверхню або об'єкт. Підтверджуємо вибір кнопкою Apply. Задаємо метод Method розбиття моделі, за замовчуванням стоїть автоматичне розбиття програмою Automatic (рис.2.13).

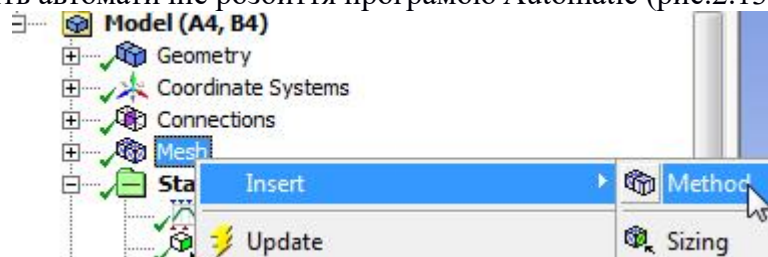


Рисунок 2.13 - Вибір Method

Можливий вибір - Tetrahedrons (елементи у вигляді тетраедрів) або поверхневий (рис.2.14).

Для вибору іншого методу розбиття слід виконати наступне:

- 1 натиснути піктограму Method меню, що випадає Mesh Control;
- 2 вибрати в графічному вікні потрібний об'єкт;
- 3 програма відзначить обраний об'єкт синім кольором і стрілкою;
- 4 в рядку Method з наявних варіантів вибрати Tetrahedrons у вікні налаштувань в рядку Geometry підтвердити вибір об'єкта;
- 5 в дерево проекту додасться Patch Conforming Method;
- 6 оновити кінцевоелементну сітку, натиснувши на клавішу Update, або згенерувати нову сітку натисканням кнопки Generate Mesh;
- 7 відобразити змінену сітку на екрані натисканням на кнопку Mesh в дереві проекту.

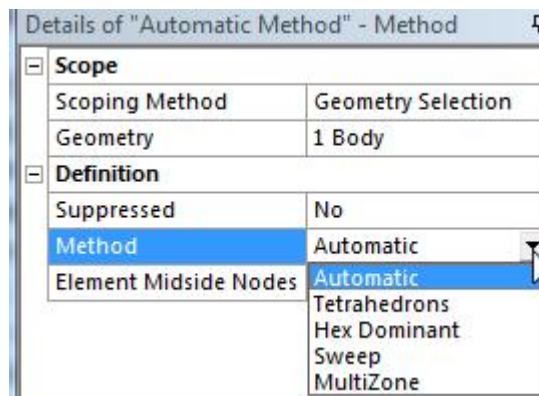


Рисунок 2.14 – Вибір методів розбиття

Генерація гексагональної сітки задається опцією Hex Dominant [1]. Алгоритм генерації гексагональної сітки передбачає створення сітки на поверхні переважно з чотирикутних елементів, а потім протягування цієї сітки всередину. В останню чергу створюються елементи в формі тетраедрів і пірамід. Підсумкова сітка складається з гексадрічних елементів на поверхні і тетраедрів усередині. Якщо створення такої сітки неможливо, з'являється попередження про погану співвідношенні поверхонь обраного об'єкта. У сітці гексадр буде невеликим, або з'являться елементи з поганою формою.

Послідовність дій для створення гексагональної сітки:

- 1 - натиснути піктограму Method меню, що випадає Mesh Control;
- 2 вибрати в графічному вікні потрібний об'єкт;
- 3 в рядку Method з наявних варіантів вибрати Hex Dominant;
- 4 оновити кінцево-елементну сітку, натиснувши на клавішу Update, або згенерувати нову сітку натисканням кнопки Generate Mesh.

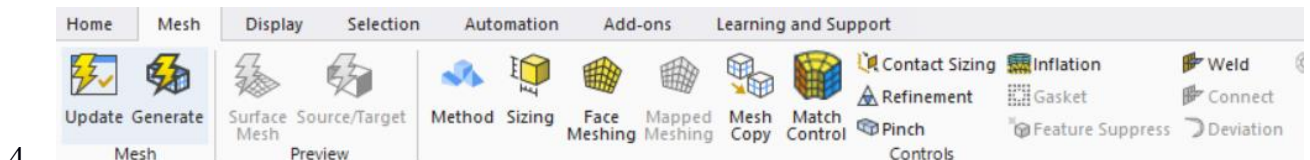


Трансляція елементів (Sweep Method) дозволяє створювати регулярні сітки і домагатися кращої збіжності розрахункових результатів. За замовчуванням цей спосіб є пріоритетним для створення елементів. Автоматична генерація сітки трансляцією елементів можлива, коли об'ємна геометрична модель має однакову геометрію (топологію) хоча б в одному напрямку, тобто подібні перетину уздовж деякого напрямку в просторі. У цьому випадку модель буде розбиватися на елементи у формі гексадр. При розбитті можуть з'являтися елементи в формі тригранних призм (елементи клиноподібної форми), що є допустимим.

Порівняння сіток, отриманих автоматично, за допомогою тетраедрів і гексадр представлено на рис. 2.15.

Послідовність дій для отримання кінцево-елементної сітки методом трансляції елементів:

- 1 - натиснути піктограму Method меню, що випадає Mesh Control;
- 2 вибрати в графічному вікні потрібний об'єкт;
- 3 в рядку Method з варіантів вибрати Sweep;
- 3 ОНОВИ  
ти KE сітку, натиснувши на клавішу Update, або згенерувати нову сітку натисканням клавіші Generate Mesh.



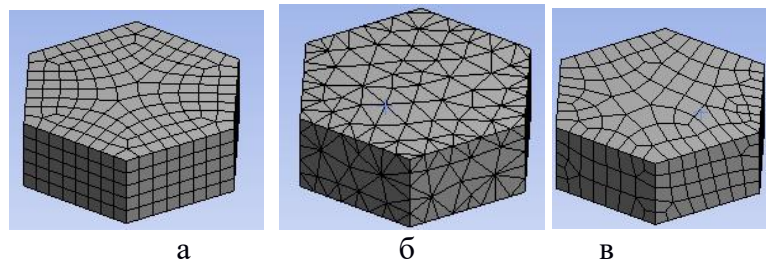


Рисунок 2.15 – Сітки, отримані різними методами побудов: а - автоматично; б - тетраедрами; в - гексаедрами

## 7 Локальна зміна сітки

У Workbench є можливість локального зміни сітки. Вибравши позицію Sizing (розмір елементів) меню, що випадає Mesh Control панелі інструментів, можна змінити щільність сітки локально (рис. 2).

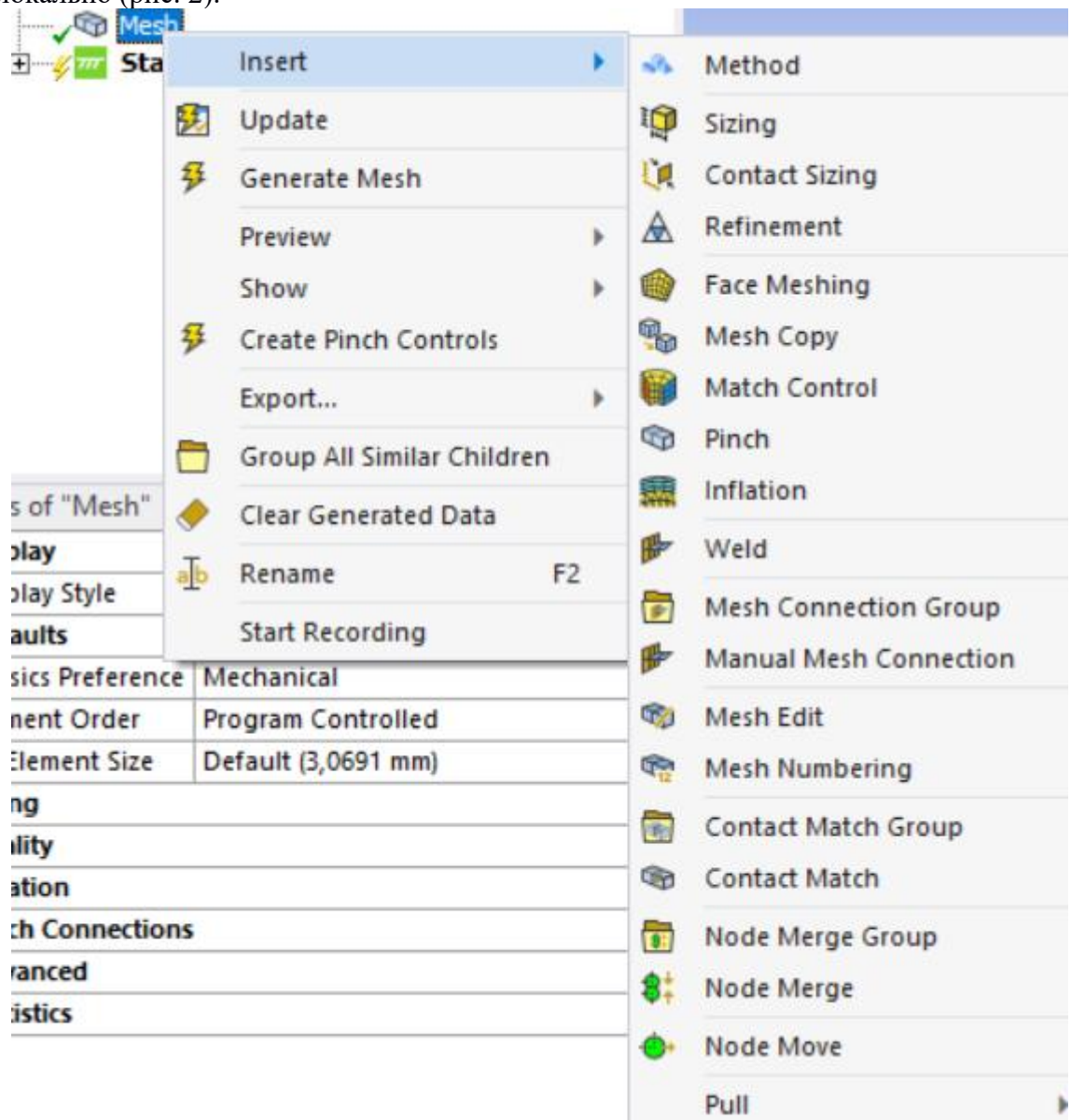


Рисунок 2.16 – Меню Mesh Control

У вікні налаштувань в рядку Туре доступні наступні опції (рис. 2.17):



Element Size (розмір елементів) задає середню довжину сторін елементів для обраних геометричних об'єктів;

Number of Divisions (число розбиття) задає кількість елементів на ребрі для обраних геометричних об'єктів;

Sphere of Influence (зона змін в формі сфери) задає радіус сфери, всередині якої елементи генеруються з заданим розміром.

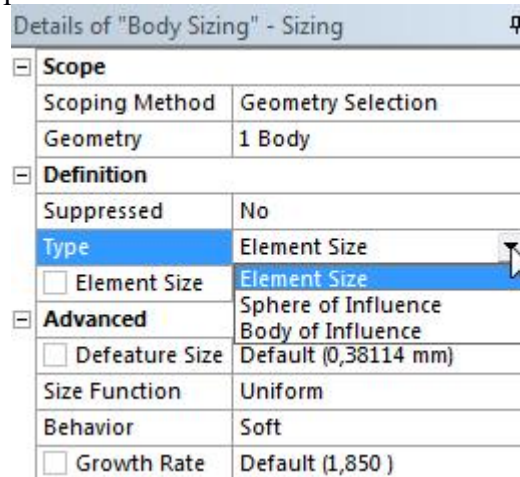
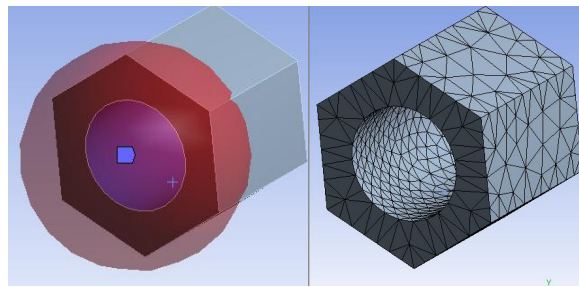


Рисунок 2.17– Вікно налаштувань Sizing

Параметри Sizing дозволяють змінити щільність сітки окремої деталі, збільшити або зменшити розмір елементів щодо параметрів, заданих глобально.

Послідовність дій для локального зміни сітки зазначенням радіусу зони змін в формі сфери відносно точки:

- 1 вибір позиції Sizing;
- 2 натиснути на кнопку виділення вершини;
- 3 на моделі курсором вказати вершину, навколо якої буде подрібнюватись сітка;
- 4 у вікні Sphere Radius ввести радіус сфери, всередині якої будуть створені елементи з заданим розміром; у вікні Element Size ввести середній розмір елемента;
- 5 зона змін показана червоним кольором, всередині сфери будуть створені елементи з заданим розміром (рис. 2.18, а);
- 6 матеріалів, що потрапили всередину сфери, змінили свій розмір;
- 7 відобразити змінену сітку на екрані натисканням на кнопку Mesh в дереві проект
- 8 натиснути на кнопку виділення поверхні на лінійці інструментів;
- 9 на моделі курсором вказати поверхню, на якій буде подрібнюватись сітка;
- 10 у вікні налаштувань підтвердити вибір поверхні;
- 11 центр сфери може бути заданий за допомогою глобальної системи координат (Global Coordinate System) і за допомогою локальної системи координат (Coordinate System);
- 12 в рядку Sphere Radius ввести значення радіуса зони змін, а в рядку Element Size ввести значення розміру елемента;
- 13 оновити KE сітку, натиснувши на клавішу Update, або згенерувати нову сітку натисканням клавіші Generate Mesh;
- 14 після поновлення або генерації сітки значки близько Vertex Sizing і Mesh відзначаться галочками, це означає, що операція завершена (рис. 2.18, б);



а б

Рисунок 2.18 – Локальна сітка: а - виділення радіусної області; б - KE сітка

Якщо локальна система координат вже створювалася, то в списку вікна налаштувань вона присутня, якщо не створювалася, то центр зони зміни може бути заданий тільки за допомогою глобальної системи координат.

Вибравши позицію Contact Sizing (щільність сітки в контактній області) меню, що випадає Mesh Control панелі інструментів, можна генерувати сітку з однаковою щільністю на контактуючих поверхнях. При однаковій сітці контактуючих поверхень реалізується більш точне моделювання процесу взаємодії деталей. Можна змінювати параметри Element Size або Relevace для сітки в області контакту в рядку Type вікна налаштувань.

Вибравши позицію Refinement (подрібнення сітки) меню, що випадає Mesh Control панелі інструментів, можна подрібнювати сітку в області виділених точок, ребер або поверхень. Використання цієї опції є простим способом локального подрібнення попередньої грубої сітки (рис. 2.19). Початкова сітка генерується автоматично з параметрами за замовчуванням, потім можна збільшити щільність сітки в області виділених точок, ребер або поверхень. При виборі значення параметра Refinement, рівного 1, ребра елементів діляться навпіл і щільність сітки подвоюється. Сітка, отримана за замовчуванням, неоднорідна. Сітка, подрібнена з допомогою Refinement також неоднорідна, так як виходить розподілом боку елемента навпіл. Чим більше значення параметра Refinement, тим на більшу кількість елементів діляться вихідні ребра елементів.

Опції Sizing і Refinement мають відмінності. Параметр Sizing задає середню довжину сторони елемента до генерації сітки, що забезпечує отримання однорідної сітки на обраних геометричних об'єктах. Параметр Refinement збільшує число елементів простим поділом сторін елементів вихідної сітки. Якщо вихідна сітка неоднорідна, то подрібнена сітка також неоднорідна і не забезпечує згладжених переходів. Параметри Sizing і Refinement можуть бути задані для однієї поверхні. При цьому параметр Sizing дозволяє отримати однорідну сітку в процесі первинної генерації, а параметр Refinement потім подрібнює вихідну однорідну сітку.

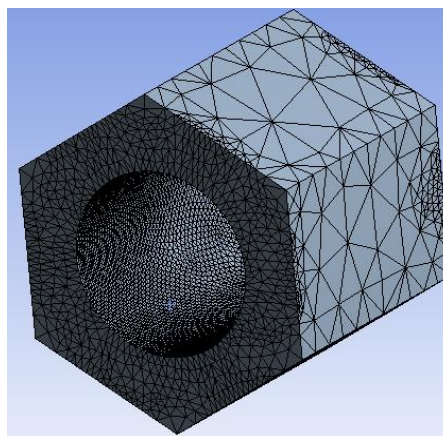


Рисунок 2.19 – Локальна подрібнення сітки за допомогою Refinement

## 8 Генерація регулярної сітки

Генерація регулярної сітки по розмітці (Mapped Face Meshing) дозволяє генерувати регулярну сітку на поверхні. Генерація сітки по розмітці можлива для оболонок. В цьому випадку сітка формується чотирикутними (quadrilateral) або трикутними (triangular) елементами, але трикутні елементи не рекомендується застосовувати для оболонок, оскільки вони не забезпечують потрібної точності. Якщо генерація сітки по розмітці неможлива з якої-небудь причини, сітка проте створюється без даної опції, про що інформує спеціальний символ статусу в дереві проекту.

Приклад генерації сітки по розмітці (Mapped Face Meshing) для внутрішньої циліндричної поверхні:

1 вибір опції Mapped Face Meshing;

2 на моделі курсором вказати поверхню, на якій буде уточнюватися сітка, підтвердити в меню (поверхню забарвиться в синій колір) (рис. 2.20, а);

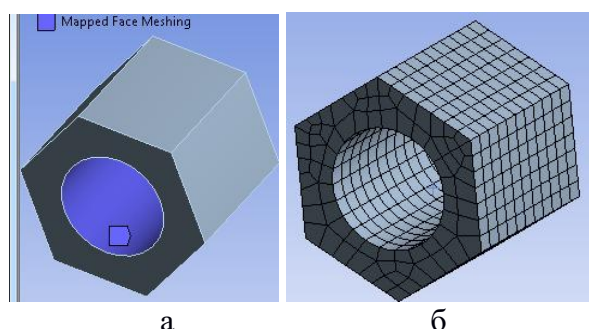


Рисунок 2.20 – Генерації сітки по розмітці (Mapped Face Meshing): а - поверхня уточнення; б - KE сітка

3 згенерувати сітку викликом контекстного меню при натисканні Refinement в дереві проекту або оновити сітку натисканням піктограми Update (рис.3.8, б).

Сітка на поєднаних поверхнях. Опція Match Control меню, що випадає панелі інструментів використовується в моделях з циклічною симетрією для генерації еквівалентних сіток на подібних поверхнях виділеної області, що повторюється. Розташування вузлів на поєднаних поверхнях буде ідентичним.

Послідовність дій для генерації сітки на поєднаних поверхнях складається з наступних кроків:

1 додавання в дерево проекту позиції Match Control в розділі Mesh;

2 виділення і підтвердження вибору у вікні налаштувань поєднуються поверхонь на геометричній моделі;

3 завдання системи координат. Вісь Z глобальної системи координат є віссю симетрії.

Після створення сітки для її візуалізації за обсягом моделі можна задавати площину перетину, за допомогою якої користувач розсікає модель в цікавій для його області. Площина перерізу для перегляду внутрішньої сітки створюється за допомогою кнопки New Section Plane (нова площина перетину), розташованої на панелі інструментів. Площина перерізу (Section Plane) може показувати на екрані внутрішню сітку (рис. 2.21).

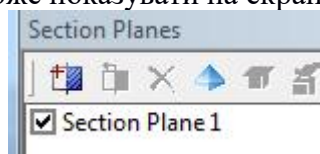


Рисунок 2.21 – Площина перерізу

Є можливість використання декількох перетинів. Можна відобразити на екрані, шляхом перетягування курсору уздовж лінії перетину (рис. 2.22) наступне:

- елементи з будь-якого боку обраного перетину;
- розсічені або цілі елементи;
- елементи в перерізі.

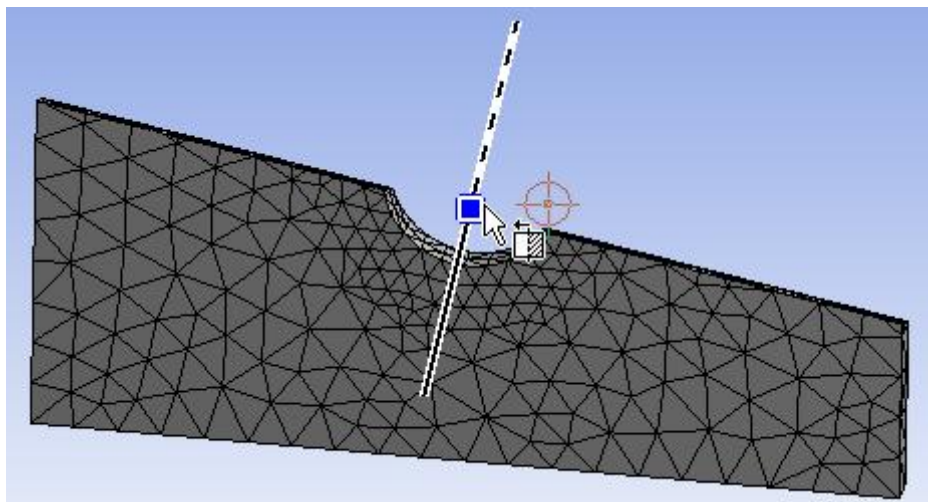


Рисунок 2.22 – Розсічення деталі площиною

## 9 Помилки при генерації сітки

Якщо генератор не може створити елементи правильної форми, з'являється повідомлення про помилку [2]. Проблемні геометричні об'єкти будуть виділені, буде створена група обраних об'єктів Problematic Geometry (проблемна геометрія), що дозволить виправити модель.

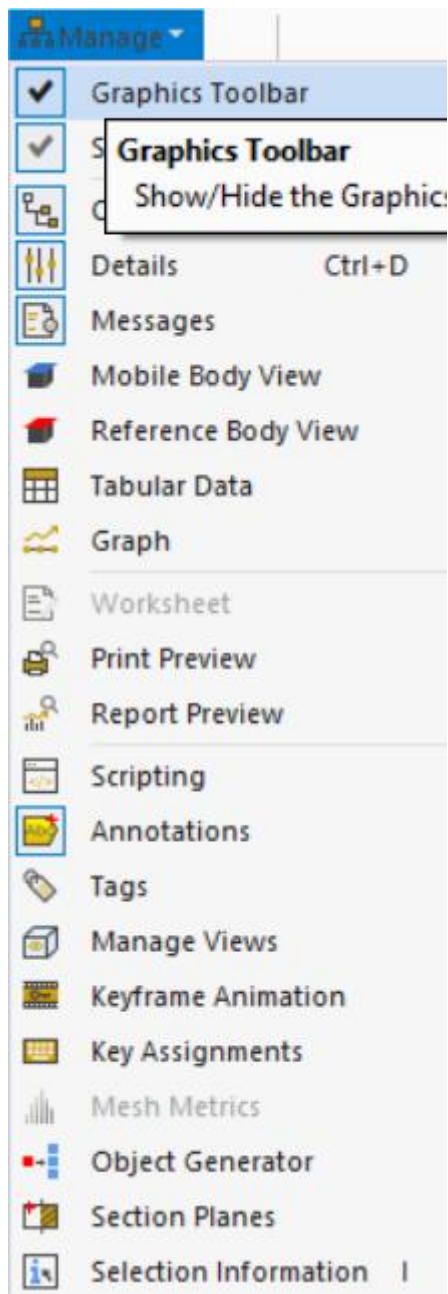
Помилка при генерації сітки може відбутися з ряду причин:

- для поверхонь задані несумісні розмірні параметри, що може привести до створення КЕ некоректної форми;
- складна для автоматичного генератора сітки геометрична модель CAD, в якій присутні вузькі смуги або гвинтові поверхні;
- встановлений жорсткий контроль за формою елементів (опція Aggressive).

Є кілька способів уникнути відмов при генерації сітки:

- задати обґрунтовані розмірні параметри кінцевих елементів (опція Sizing);
- задати менші значення розмірних параметрів, що дозволить створити елементи коректної форми;
- в CAD-системі слід використовувати функції перегляду прихованих ліній, щоб виявити і видалити тонкі смуги і інші проблемні для генератора сітки геометричні об'єкти;
- слід використовувати віртуальні осередки, щоб об'єднати вузькі смуги і маленькі поверхні.

Якщо закрилися деякі панелі властивостей, можна відновити у Manage, додавши потрібні.

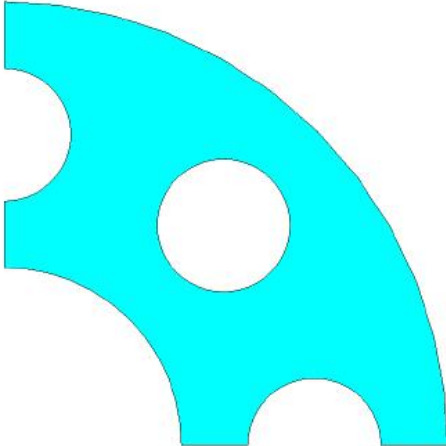
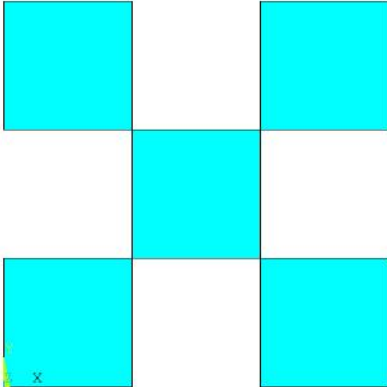
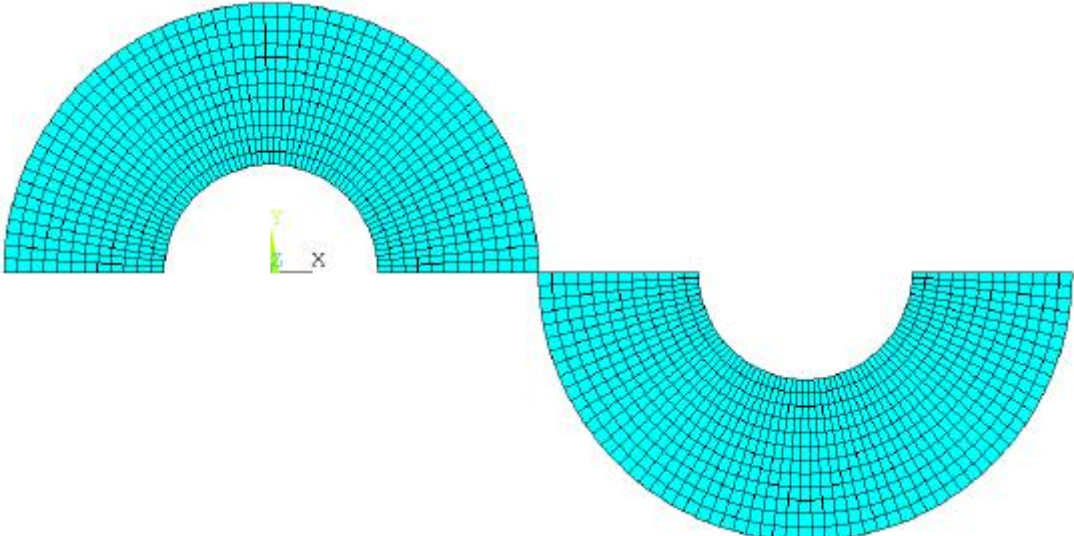


#### 10 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

1. Ознайомитись з видами КЕ та змоделювати сітку автоматично на плоскій та тривимірній деталі згідно варіанту (табл.3.1).
2. Змінити елементи на кубічні або у вигляді тетраєдрів.
3. Створити рівномірну сітку.
4. Створити локальне згущення сітки.
5. Змінити розмір елементів, підвищити точність сітки
6. Побудувати 3D модель (за вибором студента) таблиця 2.1 та змоделювати сітку найбільш вдалу.
7. Додати локальні системи координат, обрати потрібні.

Розміри деталі обираються за бажанням.

Таблиця 2.1 –Варіанти завдань

номер завдання	модель плоска
1.	
2.	
3.	

Під навантаженнями розуміються як зовнішні і внутрішні зусилля, так і граничні умови у вигляді обмежень на переміщення. У програмі ANSYS навантаження розділені на наступні категорії:

- обмеження ступенів свободи;
- зосереджені сили і моменти сил;
- поверхневі навантаження;
- об'ємні сили;

- інерційні навантаження.

Більшість цих навантажень може бути докладено або до твердотільної моделі (в ключових точках, по лініях і поверхонь), або до кінцево-елементної моделі (в вузлах і до елементів)

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бруяка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. - 271 с: ил. [Электроний ресурс ] Режим доступу:[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwi4vMCX1NPaAhXKyKQKHTEbCc4QFghNMAM&url=https%3A%2F%2Fkhai.edu%2Flibrary%2Fliterature%2Floadliterature%2Ffilename%2F1447923312.pdf&usg=AOvVaw1krH\\_qoLLCIGZCbv7pkOХК](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwi4vMCX1NPaAhXKyKQKHTEbCc4QFghNMAM&url=https%3A%2F%2Fkhai.edu%2Flibrary%2Fliterature%2Floadliterature%2Ffilename%2F1447923312.pdf&usg=AOvVaw1krH_qoLLCIGZCbv7pkOХК)
2. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил.
3. Довідкова система Ansys Workbench. Режим доступу: <https://www.ansys.com/>