

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА «ОБЛАДНАННЯ ВИДОБУВНИХ ТА ПЕРЕРОБНИХ КОМПЛЕКСІВ»

Методичні вказівки
до практичних занять
з дисципліни «САПР технологічних виробництв. Частина 3»
освітнього ступеня «Бакалавр»
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

Покровськ – 2021

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "САПР технологічних виробництв. Частина 3" освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування / Топорова А.А., Трет`якова П.В., Боровльова В.М., Алексеевої О.Є., Костіної О.Д., Кутняшенко І.В. - Покровськ, ДонНТУ, 2021 – 62 с.

У даних методичних вказівках представлені основні відомості про сучасні методи міцнісних розрахунків деталей та вузлів технологічного обладнання методом кінцевих елементів з використанням сучасного програмного забезпечення і відповідні практичні рекомендації. Розглянуто елементи інтерфейсу програмного забезпечення, етапи створення проектів аналізу, наведені основні відомості про типи виконаного аналізу, наведено приклади статичного аналізу конструкцій. Можуть бути корисними для студентів інших спеціальностей.

Укладачі: Топоров А.А., доц., к.т.н., зав. каф. ОВПК
Трет`яков П.В., доц., к.т.н., доц. каф. ОВПК
Боровльов В.М., асс. каф. ОВПК
Алексеева О.Є., доц., к.т.н., доц. каф. ПМ
Костіна О.Д., доц., к.т.н., доц. каф. ОВПК
Кутняшенко І.В., доц., к.т.н., доц. каф. ОВПК

Рецензент Сурженко А.М., доц., к.т.н., декан ФМЕХТ

Відповідальний за випуск
Зав. каф. ОВПК, к.т.н., доц. Топоров А.А.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол №_____ від _____

Розглянуто на засіданні кафедри «Обладнання видобувних та переробних комплексів» протокол №_____ від _____.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО АНАЛІЗ МІЦНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	5
1.1. Призначення, основні параметри системи	5
1.2. Концепція аналізу методом кінцевих елементів (МКЕ)	5
1.3. Види аналізу	7
1.4. Геометричні позначення в 3D-моделях	7
1.5. Типи кінцевих елементів (Element).....	8
1.6. Кінцево-елементна сітка (Mesh).....	8
1.7. Способи вирішення.....	9
1.8. Типи матеріалів моделей (Material)	9
1.9. Обмеження зсувів (Restrains).....	9
1.10. Навантаження (Load).....	10
1.11. Відображення результатів аналізу (Plot)	10
1.12. Перевірка міцності (Design Check).....	11
1.13. Звіти (Report)	12
1.14. Елементи інтерфейсу (Interface)	13
2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1. МІЦНІСНИЙ АНАЛІЗ СТАТИЧНО НАВАНТАЖЕНОЇ ДЕТАЛІ.....	16
3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2 УПРАВЛІННЯ ВІДОБРАЖЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКІВ	24
3.1. Відображення результатів розрахунків.	24
3.2. Загальні налаштування при відображенні напружень, переміщень і відносних деформацій.....	26
3.3. Налаштування відображення напружень, відносних деформацій і переміщень	27
3.4. Налаштування відображення результатів для частини моделі	28
4. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3 ПРИКЛАДАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ В ЗАДАНОМУ НАПРЯМКУ	32
5. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4 СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОПОМІЖНОЇ ГЕОМЕТРІЇ.....	34
6. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5 ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ.....	37
7. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6 ВИКОНАННЯ АНАЛІЗУ З РІЗНИМИ ВИРІШУВАЧАМИ.....	39
8. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 ЗМІНА КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОЇ СІТКИ ПОБЛИЗУ ВИБРАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	41
9. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 РОЗБИТТЯ ПОВЕРХОНЬ НА СКЛАДОВІ	43
10. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛЕЙ, ЩО МАЮТЬ ПЛОЩИНИ СИМЕТРІЇ.....	45
Додаток А – Варіанти завдань	47
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61

ВСТУП

В даний час системи автоматизованого проектування (САПР) є найбільш перспективним і потужним інструментом створення проектів сучасних технічних об'єктів найвищої складності. Особливу роль відіграють *CAE*-системи (*Computer Aided Engineering*), які реалізують сучасні методи розрахунків у вигляді прих продуктів і дозволяють проводити статичний, динамічний, тепловий аналіз, розраховувати стійкість і частоти коливань конструкцій, вивчати складні системи в русі. Важливе значення мають такі програми для інженерів-механіків, яким доводиться виконувати велику кількість розрахунків як при проектуванні нових, так і при аналізі існуючих машин, апаратів, металоконструкцій і т. п.

Одним з найбільш перспективних і часто використовуваних методів є **метод кінцевих елементів (MKE)** або **finite element analysis (FEA)**, який використаний в більшості сучасних *CAE*-систем [1-3]. Цей метод досить докладно розглянуто в літературі і використаний в таких відомих зарубіжних системах, як ANSYS, NASTRAN, PATRAN, COSMOS, Pro/Engineer, Abacus і т.п., крім того, на ринку почали з'являтися і вітчизняні системи високого рівня. Спочатку створені програмні комплекси були досить складними, вимагали високого рівня математичної підготовки і тривалого освоєння кінцевим користувачем. Багаторічний досвід роботи провідних зарубіжних фірм в цій області показав необхідність створення систем зі спрощеним інтерфейсом, що дозволяє виконувати аналіз відносно нескладних конструкцій користувачами з інженерним рівнем математичної підготовки. Найбільш яскравими представниками програм такого класу є системи DesignSpace (гілка ANSYS) і DesignStar (гілка COSMOS).

Система "COSMOS / DesignStar 4.5" обрана з кількох причин: відносно невисокі вимоги до апаратних ресурсів, простота в освоєнні, наявність потужної довідкової системи, прийнятне співвідношення якості / вартість.

Метою практичних занять з курсу "Сучасні методи розрахунків" є набуття студентами практичних навичок роботи з системою "COSMOS/DesignStar 4.5", вивчення методики проведення лінійного статичного аналізу з урахуванням теплових та контактних навантажень, теплового аналізу, аналізу стійкості та власних частот коливань.

Необхідно відзначити, що завданням даних методичних вказівок є допомога у вивченні основ проведення вищевказаного аналізу. Професійна робота з програмами розрахунків методом кінцевих елементів вимагає високого рівня математичної підготовки і глибокого розуміння фізичної сутності механічних процесів, що відбуваються при навантаженні конструкцій.

Вивчення наведеного в методичних вказівках матеріалу настійно рекомендується виконувати в наведеній послідовності, відразу ж відпрацьовуючи дії в програмі.

1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО АНАЛІЗ МІЦНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Призначення, основні параметри системи

Система "COSMOS/DesignStar" версії 4.5 фірми Structural Research and Analysis Corporation (SRAC) працює в середовищі операційних систем Windows 95/98/ME/NT/2000/XP і відрізняється широкими функціональними можливостями при відносно невисоких вимогах до апаратної частини ЕОМ: процесор – Pentium, ОЗУ – 256 Mb, HDD ~ 100 Mb для інсталяції і близько 200 Mb вільного місця при вирішенні завдань середнього рівня складності [4-6].

"COSMOS/DesignStar" використовує графічне ядро ParaSolid і підтримує стандарти ACEA і STEP AP203, має кілька типів "вирішувачів" (Solver), велику базу даних матеріалів і типів кінцевих елементів, дозволяє працювати як з деталями, так і збірками, розбивати модель на кінцеві елементи в автоматичному і напівавтоматичному режимах, задавати різні типи навантажень і закріплень і відображати результати розрахунків в графічному вигляді.

1.2. Концепція аналізу методом кінцевих елементів (МКЕ)

При проведенні будь-якого виду аналізу в системах CAE традиційно виділяються три етапи його проведення [7]:

- попередня обробка даних (побудова за геометричною моделлю виробу (в CAD-системі) розрахункової моделі досліджуваного процесу);
- аналіз моделі за допомогою спеціалізованого вирішувача;
- заключна обробка результатів (візуалізація результатів розрахунків математичної моделі).

Зазвичай аналіз проводять в двох випадках:

1. Перевірка існуючої моделі-виконується перевірка працездатності (міцності, жорсткості, стійкості і т.п.) вже розробленої моделі.
2. Розробка нової моделі-виконується при проектуванні нового виробу, коли результати розрахунків використовуються для визначення оптимальних розмірів і форми моделі, вибору типу матеріалу або місць прикладання навантажень. При цьому результати аналізу використовують в якості вихідних даних для проектування нової моделі.

У системі "COSMOS/DesignSTAR" використовується концепція дослідження "що-якщо", коли користувач, в діалоговому режимі задаючи різні робочі умови, в яких може перебувати модель, вивчає результати в зручному, графічному вигляді. Для цього необхідно відкрити модель, створити новий проект дослідження, для якого задаються тип аналізу, матеріал моделі, навантаження, закріплення, проводиться розбиття на кінцеві елементи. Після виконання розрахунків проводиться вивчення одержуваних результатів у вигляді полів напружень, деформацій, переміщень, температур, що відображаються різними способами.

При необхідності можна відредагувати будь-який компонент дослідження не змінюючи інших і провести новий розрахунок. Є можливість для однієї моделі

задати кілька проектів дослідження з різними типами і компонентами аналізу і зберегти їх в одному файлі.

Рішення виконується в кілька етапів.

1. Створення просторової геометричної моделі деталі (Part) або збірки (Assembly).

У більшості розв'язуваних завдань зручно імпортувати 3D-модель, створену в CAD-системі; плоскі і осесиметричні завдання створюються на основі ескізів (Sketch), зроблених засобами "COSMOS/DesignSTAR".

1. Створення проекту дослідження (Study).

При цьому задається:

- ім'я проекту (Study),
- тип аналізу (Analysis Type):
 - статичний (Static), стійкість (Buckling), частотний (Frequency), термічний (Thermal), нелінійний (Nonlinear), динаміки рідин і газів (FluidFlow),
- тип використовуваних кінцевих елементів:
 - об'ємні (Solid), оболонкові (Shell), плоскі (2D Planar), осесиметричні (2D Axisymmetric).

Для кожного типу проекту виконуються його індивідуальні налаштування (Properties), зокрема, вибирається вирішувач (Solver).

2. Завдання фізико-механічних властивостей матеріалів (Material), з яких виготовлені моделі.

Матеріал моделей можна вибрати з наявної бази або задати унікальні властивості. Для складання матеріал задається для кожної моделі окремо.

3. Завдання навантажень, теплових впливів і обмежень зсувів (Loads/BC).

Навантаження:

поверхневі (Load); об'ємні (Body Load); "віддалені" (Remote Load).

Теплові умови:

температура (Temperature); конвекція (Convection); тепловий потік (Heat Load); випромінювання (Radiation).

Обмеження зсувів (Restraint) залежно від їх типу можуть бути прикладені до:

вершин (Vertex); ребр (Edge); поверхонь (Face).

Також використовується допоміжна геометрія:

точки (Point); осі (Axis); площини (Plane).

4. Створення кінцево-елементної сітки (Mesh).

Геометрична модель розбивається на елементи (Element) простої геометричної форми, які взаємодіють між собою в особливих точках, званих вузли (Node). Таким чином, мережа з'єднаних між собою дискретних (кінцевих) елементів замінює безперервну модель. Розбиття на кінцеві елементи в системі "COSMOS/DesignSTAR" виконується автоматично, але користувач може управляти параметрами сітки, задаючи середній розмір елемента і виділяючи області, де необхідна більш дрібна сітка. Розмір одержуваних елементів залежить від розмірів моделі і необхідної точності рішення.

5. **Запуск** програми аналізу (Run).

Найбільш ресурсоємна частина обчислювального процесу – рішення систем лінійних рівнянь, не вимагає налаштувань.

6. Візуалізація результатів, для чого передбачені різноманітні засоби:

- відображення результатів аналізу у вигляді полів напружень, деформацій, переміщень, температур і т. п. в різних колірних схемах;
- **аналіз конструкції за різними критеріями міцності** (Design...Check) (при цьому можливий вибір одного з чотирьох варіантів:
 - енергетичний критерій (Мізеса),
 - критерій Сен-Венана-Леві (Треска),
 - критерій Мора-Кулона,
 - критерій на основі максимального нормального напруження);
- створення **звітів** (Report).у форматі HTML;
- створення анімованих **відеофрагментів** (Video Clip).

1.3. Види аналізу

- **Статичний аналіз** (Static) – розрахунок переміщень, деформацій і напружень, що виникають в конструкції при заданих граничних умовах і статично прикладених навантаженнях. При визначенні напружено-деформованого стану можливий облік температурних напружень, а також розрахунок збірок з урахуванням контактної взаємодії між їх елементами як урахуванням і без урахування тертя.
- **Частотний аналіз** (Frequency) – визначення власних (резонансних) частот і відповідних форм коливань.
- **Аналіз стійкості** (Buckling) – визначення критичних навантажень і відповідних форм втрати стійкості.
- **Термічний аналіз** (Thermal) – визначення температурних полів і градієнтів, теплових потоків в конструкції. Розраховуються стаціонарні стани і перехідні процеси в лінійній і нелінійній постановці.
- **Нелінійний аналіз** (Nonlinear) – розрахунок переміщень, деформацій і напружень, що виникають в конструкції при великих переміщеннях і/або нелінійних властивостях матеріалів (пластичність, гіперпружність, в'язкопружність).
- **Динаміка рідин і газів** (FluidFlow) – розрахунок течії рідин і газів в широкому діапазоні чисел Рейнольдса; стискаються і нестисливі, з різними моделями в'язкості.

1.4. Геометричні позначення в 3D-моделях

Навантаження і закріплення в залежності від їх типу можуть бути прикладені до **вершин** (Vertex), **ребр** (Edge) і **граней** (Face) (рис. 1.1, а), а також використовуються попередньо визначені користувачем для посилок **точки** (Point), **осі** (Axis) і **площини** (Plane). Для об'єкта (**вершина, ребро, поверхня**) може бути прикладена тільки одне навантаження/закріплення однакового типу.

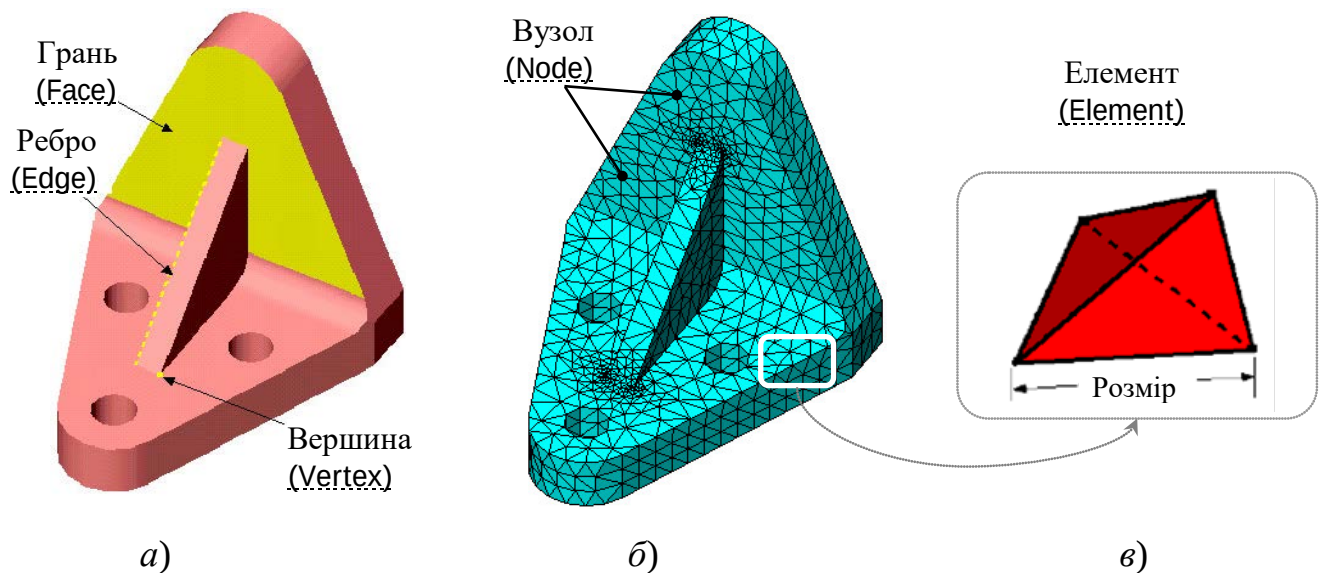


Рисунок 1.1. Геометричні позначення в 3D-моделях

1.5. Типи кінцевих елементів (Element)

- **Об'ємні** (Solid) – чотиригранні елементи (лінійні або параболічні, в залежності від обраної якості Draft/High), що представляють собою чотири вершини, з'єднані шістьма ребрами. Застосовуються для розрахунку 3D-моделей.
- **Оболонкові** (Shell) – тригранні елементи (лінійні або параболічні, в залежності від обраної якості Draft/High), що представляють три вершини, з'єднані трьома ребрами. Застосовуються для розрахунків листових моделей, мембран і т.п. Обов'язково задається товщина елементів.
- **Плоскі** (2D Planar) – плоскі тригранні. Для деяких деталей можливе спрощення завдання з 3D до 2D без шкоди якості результату, але при цьому значно скорочуються обчислювальні витрати. Застосовуються для розрахунків пластин, тіл видавлювання і т. п.
- **Осесиметричні** (2D Axisymmetric) – плоскі тригранні. Розрахунок деяких деталей, що представляють тіла обертання, можна спростити з 3D до 2D без шкоди якості результату, значно скоротивши обчислювальні витрати

1.6. Кінцево-елементна сітка (Mesh)

Створення кінцево-елементної сітки є обов'язковою процедурою, коли здійснюється перехід від геометричної моделі розраховується деталі до дискретної, що складається з **елементів** (Element) кінцевих розмірів, які з'єднані у **вузлах** (Node). Від коректності і точності **кінцево-елементної сітки** (Mesh) залежить адекватність одержуваного рішення. Створення **кінцево-елементної сітки** (Mesh) виконується автоматично.

Користувач може керувати наступними властивостями звичайно-елементної сітки для всієї моделі:

- **розмір** кінцевого елемента (Global Size);
- **точність** (Tolerance).

Збільшення кількості кінцевих елементів і підвищення точності збільшує точність одержуваних результатів, але значно збільшує ресурсоемність рішення. Тому в околиці обраної **вершини** (Vertex), **ребра** (Edge) або **поверхні** (Face) є можливість змінювати параметри звичайно-елементної сітки:

- **розмір** кінцевого елемента (Size),
- **співвідношення розмірів** сторін (Ratio),
- **число шарів** зміненої сітки (Layers).

1.7. Способи вирішення

Для **статичного** аналізу (Static) можна використовувати три типи вирішувачів:

- **FFE** для середніх задач з числом ступенів свободи (DOF) $< 10^5$;
- **FFE (Plus)** для великих задач з числом ступенів свободи (DOF) $> 3 \cdot 10^5$;
- **Direct Sparse** для **зборок** (Assembly) з контактною взаємодією і урахуванням тертя (Friction);
- будь-який вирішувач для невеликих завдань.

1.8. Типи матеріалів моделей (Material)

Cosmos/DesignSTAR використовує кілька типів конструкційних матеріалів, що дозволяє вирішувати широке коло завдань, в тому числі розрахунок збірок, що складаються з деталей, виготовлених з різних матеріалів з урахуванням сил тертя. Тип матеріалу вибирається в залежності від виду аналізу.

Конструкційні матеріали можна вибирати з бібліотеки матеріалів або вводити їх властивості вручну.

Для всіх видів аналізу, за винятком **нелінійного** (Nonlinear) можуть використовуватися пружні **ізотропний** (Elastic Isotropic), **ортотропні** (Elastic Orthotropic) і **анізотропні** (Elastic Anisotropic) матеріали.

1.9. Обмеження зсувів (Restraints)

Обмеження переміщень або **закріплення** (Restraints) використовується при аналізі:

- міцнісному;
- стійкості;
- частотному.

Задаються нульові або певні переміщення **вершин** (Vertex), **ребр** (Edge) або **поверхонь** (Face).

Є можливість задавати наступні типи обмежень переміщень:

- **фіксований елемент** (Fixed);
- **симетричний елемент** (Symmetric);
- **жорстке закладення** (Non-Sliding Face);
- **ковзаюче закладення** (Sliding Face);
- **задане переміщення** (Prescribed);
- **не переміщається** (No Translation);
- **не обертається** (No Rotation).

1.10. Навантаження (Load)

Типи навантажень в "COSMOS/DesignStar":

- **поверхневі** (Load):
 - **сила** (Force);
 - **крутний момент** (Torque);
 - **згинальний момент** (Moment);
 - **розподілене навантаження** (Uniform Pressure);
- **об'ємні** (Body Load):
 - **лінійне прискорення** (Linear Acceleration);
 - **кутова швидкість** (Angular Velocity);
 - **кутове прискорення** (Angular Acceleration);
- **температурні навантаження** (Thermal loading):
 - **задана температура** (Prescribed temperatures);
 - **рівномірна температура** (Uniform temperature);

1.11. Відображення результатів аналізу (Plot)

Після виконання розрахунків "COSMOS / DesignSTAR" дозволяє відображати в графічному вигляді результати розрахунків:

- **напруження** (Stress),
- **переміщення** (Displacement),
- **відносні деформації** (Strain)
- **деформований стан** (Deformation),

які називаються **побудови** (Plot) і можуть відображатися у вигляді:

- **точок** (Point),
- **ізоліній** (Line),
- **колірних полів** (Tone),
- **частини моделі** (Section),

Деякі приклади відображення результатів розрахунків наведені на малюнку

1.2.

При відображенні **напружень** користувач може налаштовувати їх тип::

- **нормальні напруження** в напрямках X, Y, Z (Normal Stress),
- **дотичні напруження** в площинах XY, XZ, YZ (Shear Stress),
- **головні напруження 1, 2, 3-є** (Principal Stress),
- **інтенсивність напружень** (Stress Intensity),
- **середні напруження** (von Mises Stress);

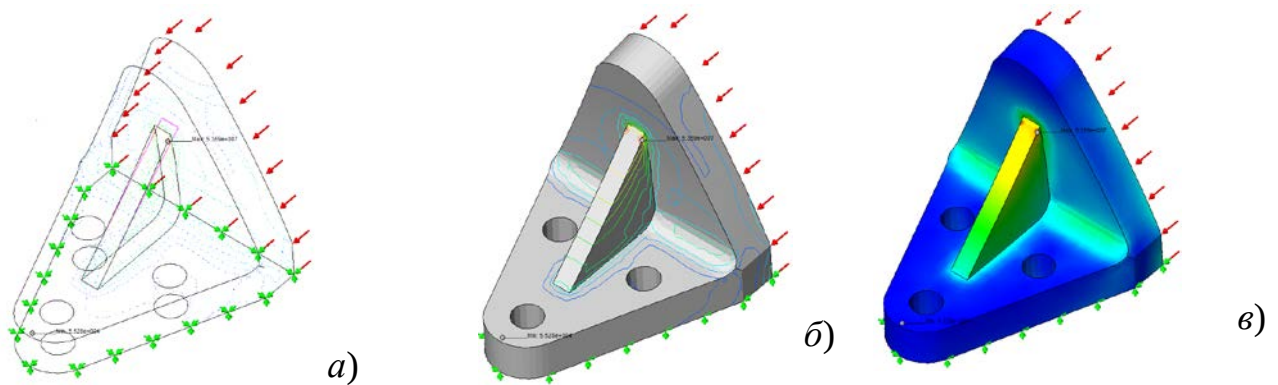


Рисунок 1.2. Відображення результатів розрахунків в різних видах:
 а – точок (Point); б – ізоліній (Line); в – колірних полів (Tone).

При відображенні **відносних деформацій** користувач може налаштовувати їх тип:

- **відносні лінійні деформації** в напрямках X , Y , Z (Normal Strain),
- **відносні кутові деформації** в площинах XY , XZ , YZ (Shear Strain),
- **еквівалентні деформації** (Equivalent Strain),
- **щільність [потенційної] енергії деформації** (Strain Energy Density),
- **повна енергія деформації** (Total Strain Energy).

При відображенні **переміщень** користувач може налаштовувати їх тип::

- **переміщення** (Displacement) в напрямках X , Y , Z ,
- **середнє переміщення** (Resultant Displacement),
- **сили реакцій** (Reaction Force) в напрямках X , Y , Z ,
- **середні сили реакцій** (Resultant Reaction Force).

При відображенні результатів розрахунків в графічному вигляді є можливість показувати частину моделі, виконуючи перетин **площиною** (Plane), **циліндром** (Cylinder) або **сферою** (Sphere).

Крім того є можливість представляти результати в табличному текстовому вигляді (з можливістю збереження у файлі) для:

- окремих елементів моделі – **вершин** (Vertex), **ребер** (Edge), **поверхонь** (Face), а також **елементів** (Element) и **вузлів** (Node) – користуючись інструментами Probe і List results by Entity,
- **сил реакцій** (Reaction Force) і **контактних сил** (Contact Force);
- **масо-центрувальних характеристик** моделі, площі, довжини, периметра окремих її елементів – інструменти (Mass Properties) і (Measure).

1.12. Перевірка міцності (Design Check)

Найчастіше, після визначення напружено-деформованого стану розраховується об'єкта, потрібне виконання перевірки міцності для відповіді на питання: "чи витримає розраховується об'єкт діючі навантаження не руйнуючись?".

У програмі передбачена **перевірка міцності** (Design Check) за чотирма теоріями міцності.

1. Теорія найбільших середніх напружень або критерій Мізеса або енергетична теорія (maximum von Mises stress criterion).

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}},$$

де σ_{vonMises} – найбільші середні напруження;
 σ_{limit} – граничні напруження.

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}.$$

2. Теорія найбільших дотичних напружень або критерій тріска або критерій Сен-Венана-Леві (maximum shear stress criterion).

$$\tau_{\text{max}} \geq -\frac{\sigma_{\text{limit}}}{2},$$

де τ_{max} – найбільше з трьох дотичних напружень:

$$\tau_{1/2} \geq \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad \tau_{2/3} \geq \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \quad \tau_{1/3} \geq \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}.$$

3. Теорія Кулона-Мора (Mohr-Coulomb stress criterion):

$$\sigma_1 \geq \sigma_{\text{TensileLimit}}, \text{ якщо } \sigma_1 > 0 \text{ и } \sigma_3 > 0;$$

$$\sigma_3 \geq -\sigma_{\text{CompressiveLimit}}, \text{ якщо } \sigma_1 < 0 \text{ и } \sigma_3 < 0;$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{TensileLimit}}} - \frac{\sigma_3}{\sigma_{\text{CompressiveLimit}}} < 1, \text{ якщо } \sigma_1 \geq 0 \text{ и } \sigma_3 \leq 0.$$

4. Теорія найбільших нормальних напружень (maximum normal stress criterion):

$$\sigma_1 \geq \sigma_{\text{limit}}.$$

В якості граничних напружень можна вибирати **межа міцності** (Ultimate strength), **межа плинності** (Yield strength), або ввести значення вручну.

У програмі передбачено відображення результатів перевірки в різних видах:

- **розподілений коефіцієнт запасу міцності** (Factor of safety distribution) – при цьому шкала змінюється від найменшого значення коефіцієнта запасу міцності до 100;
- **відносний коефіцієнт запасу міцності** (Non-dimensional factor stress distribution) – використовується відносна шкала;
- **значення менше коефіцієнта запасу міцності** (Areas below factor of safety) – області, де значення коефіцієнта запасу міцності менше заданої величини відображаються червоним кольором, інші-синім.

1.13. Звіти (Report)

"COSMOS/DesignSTAR" – дозволяє створювати звіти (Report) у форматі HTML. У діалоговому вікні **Report** (Звіт) можна включати/виключати і налаштовувати наступні елементи звіту::

- **титульний аркуш** (Cover Page):
логотип, назва, автор, компанія, дата;
- **вступ** (Introduction);
- **опис** (Description);

- **файл** (File Information):
ім'я, шлях, робоча папка;
- **матеріал** (Material):
категорія, назва, опис;
- **навантаження і обмеження зсувів** (Load Information):
список;
- **проект** (Study Property):
КЕ, сітка, вирішувач, опис;
- **напруження** (Stress Results);
- **відносні деформації** (Strain Results);
- **переміщення** (Displacement Results);
- **деформації** (Deformation Results);
- **перевірка міцності** (Design Check Results);
- **висновки** (Conclusion);
- **додатки** (Appendix).

1.14. Елементи інтерфейсу (Interface)

Робочий екран “COSMOS/DesignSTAR” містить кілька компонентів (рис. 1.3):

- **вікно відображення моделі** (Document Windows) – вікно, в якому відображається просторова геометрична модель деталі або збірки, а також результати розрахунків;
- **панель меню** (Menu Bar) – текстове меню, що забезпечує управління і настройку системи;
- **панелі інструментів** (Toolbars) – містять кнопки найбільш часто використовуваних команд, згруповані за їх типом;
- **дерево рішення або візуалізатор** (Visualizer Tree) – структуроване вікно перегляду, в яке організовано відображення всіх компонентів **проекту** (Studies) з можливістю управління ними;
- **рядок стану** (Status Bar) в якій виводиться інформація про поточний стан системи.

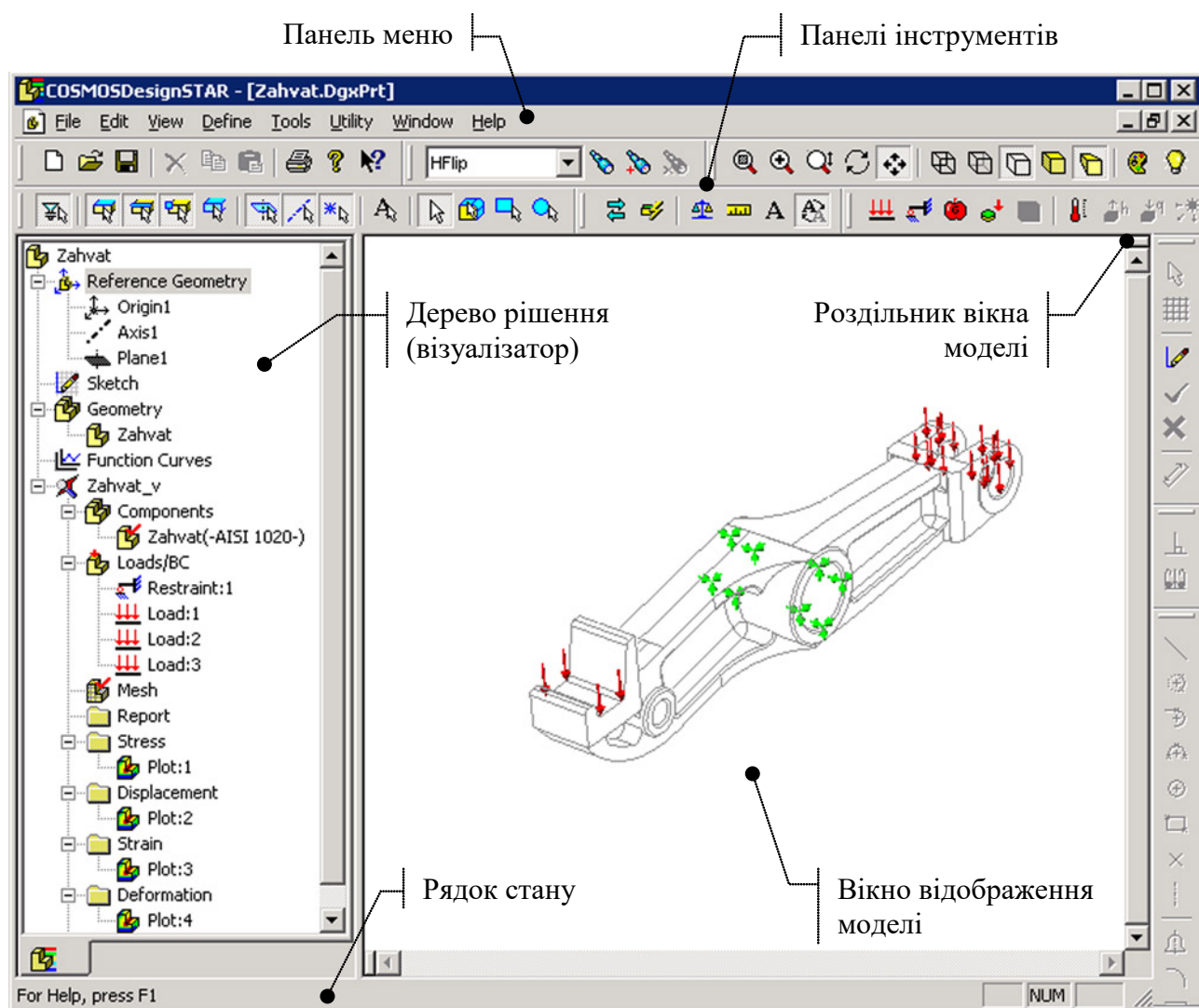


Рисунок 1.3. Елементи інтерфейсу

Панелі інструментів (Toolbars).

Є можливість налаштовувати панелі інструментів, приховуючи або переміщаючи їх. Для переміщення інструментальної панелі, необхідно вказати курсором на її кордон, натиснути ліву кнопку миші і перемістити в потрібне місце. Показати / приховати інструментальну панель можна в пункті меню View > Toolbars.

Дерево рішення або візуалізатор (Visualizer Tree) (рис. 1.4) відображає створені **проекти (Studies)** і результати досліджень. Відображувані елементи є інтерактивними, що дозволяє легко ними управляти:

- створювати **проекти (Studies)**, управляти і налаштовувати їх;
- **виключати/включати в розрахунок (Suppress/Unsuppress)** вибрані компоненти (для виключених компонентів звичайно-елементна сітка не створюється);
- **приховувати/відображати (Hide/Show)** вибрані компоненти;
- призначати матеріали, прикладати навантаження і обмеження переміщень, управляти параметрами звичайно-елементної сітки;
- перейменовувати елементи, звані системою за замовчуванням;

- використовувати технологію drag-and-drop (копіювання і вставка) для створення нових проектів і копіювання матеріалів, навантажень, обмежень зсувів між проектами;
- переглядати і редагувати матеріали, навантаження, обмеження зсувів, властивості елементів і т. п. (Edit Definition);
- відображати результати розрахунків з індивідуальними настройками;
- **запускати на виконання аналіз (Run);**
- виконувати перевірку моделі за обраними критеріями;
- видаляти проекти, матеріали, навантаження, обмеження зсувів.

На рисунку 1.4 наведені основні елементи, що відображаються в дереві побудови для статичного аналізу.

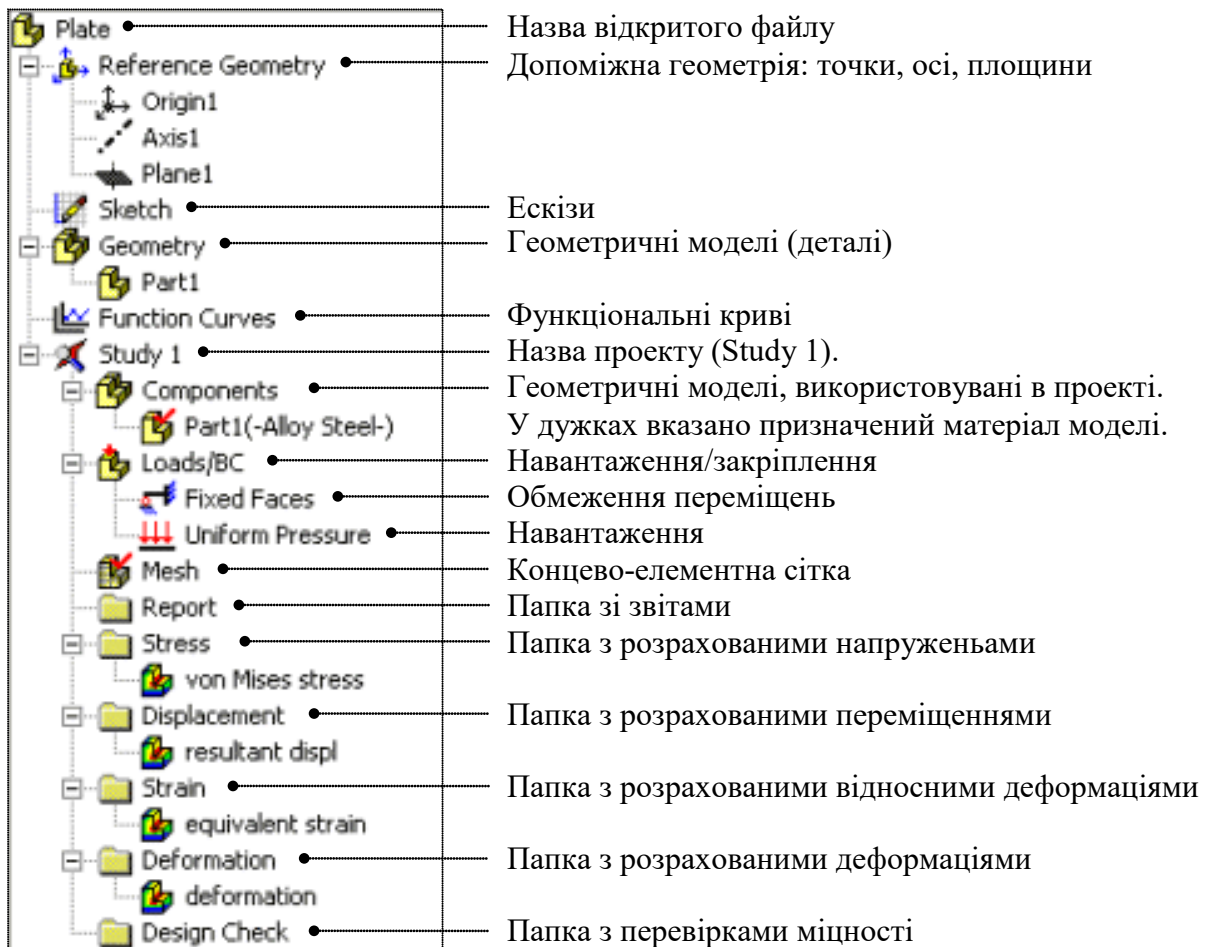


Рисунок 1.4. Основні елементи, що відображаються в дереві рішення

2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1. МІЦНІСНИЙ АНАЛІЗ СТАТИЧНО НАВАНТАЖЕНОЇ ДЕТАЛІ

Вивчити:

- ✓ послідовність виконання **статичного** (*Static*) міцнісного аналізу **напружено-деформованого стану** (*Stress Strain State*) моделі;
- ✓ відкриття існуючої **моделі** (*Part*);
- ✓ створення **проекту** (*Study*) для аналізу зі **статично** (*Static*) прикладеними навантаженнями;
- ✓ вибір **об'ємних** (*Solid*) кінцевих елементів;
- ✓ вибір **матеріалу** (*Material*) моделі з бібліотеки;
- ✓ завдання **обмеження зсувів** (*Restraints*) моделі;
- ✓ прикладання **навантажень** (*Loads*) до моделі;
- ✓ створення **кінцево-елементної сітки** (*Mesh*);
- ✓ виконання **розрахунку** (*Run*);
- ✓ **відображення** (*Plot*) результатів розрахунків;
- ✓ **перевірка міцності** (*Design Check*) моделі;

Послідовність виконання статичного аналізу.

1. Відкрити існуючу просторову геометричну **модель** (*Part*).
 - 1.1. Вибрати **File, Open** в текстовому меню або натиснути кнопку **[Open]** на стандартній панелі,
 - 1.2. Вибрати тип файлів: **Parasolid Files (*.x_t, *.x_b, *.xmt_txt, *.xmt_bin)**.
 - 1.3. Вибрати файл: **bracket.x_t**.

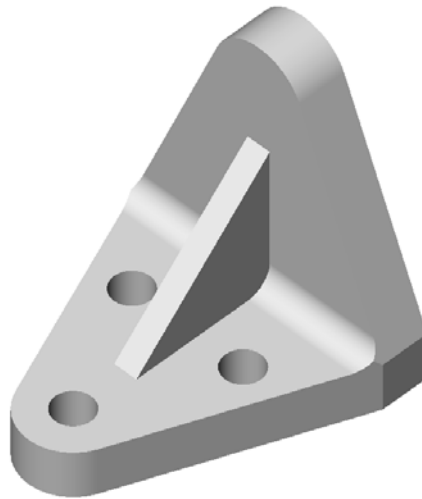


Рисунок 2.1 – Просторова геометрична модель, що розраховується

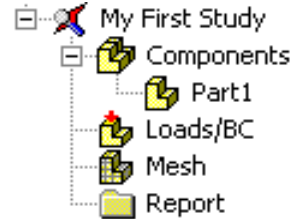
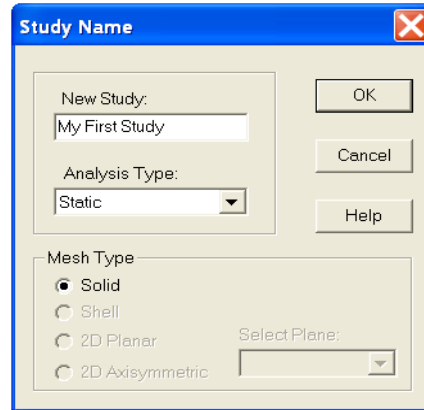
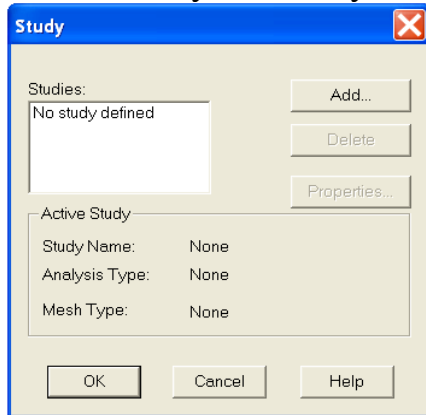
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*).
 - 2.1. Вибрати **Define, Study** в текстовому меню або натиснути правою кнопкою на назві відкритого файлу (*bracket*) в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Study**. Відкриється діалогове вікно **Study** (рисунок 2.2а).
 - 2.2. Натиснути кнопку **[Add]**. Відкриється діалогове вікно **Study Name** (рисунок 2.2б):
 - ввести в поле **New Study** (*новий проект*) назву проекту **My First Study**;
 - вибрати зі списку, що випадає в поле **Analysis Type** (*тип аналізу*) **Static** (*статичний*);

- в блоці *Mesh Type*:
- вибрати тип кінцевих елементів **Solid**.

2.3. Натиснути кнопку [OK]

І Назва створеного проекту з'явиться в діалоговому вікні в списку проектів і в дереві побудови (рисунок 2.2в).

2.4. Натиснути кнопку [OK].



а) діалогове вікно менеджера проекту (Study)

б) діалогове вікно під час створення проекту (Study) зі статичним (Static) аналізом

в) дерево рішень

Рисунок 2.2 – Діалогові вікна при створенні проекту

Зауваження 1. Подальша робота виконується зі створеним проектом.

3. Задати матеріал (Material) моделі (приймаємо матеріал моделі – леговану сталь (Alloy Steel) з бібліотеки).

3.1. Натиснути правою кнопкою на значку **Part1** в папці **Components** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Edit/Define Material**. Відкриється діалогове вікно **Material** (рисунок 2.3):

- в блоці *Select material source*:
- вибрати джерело матеріалів **Library files** (бібліотека файлів);
- вибрати зі випадального списку джерело **coswkm**;
- в дереві списку матеріалів розкрити папку **Steel** і вибрати матеріал **Alloy Steel**, властивості матеріалу **Alloy Steel** відображаються в таблиці праворуч;

3.2. Натиснути кнопку [OK].

*Матеріал Alloy Steel призначений моделі, його назва написана справа в дужках від значка **Part1** в папці **Components**. Значок **Part1** буде позначений червоною "пташкою".*

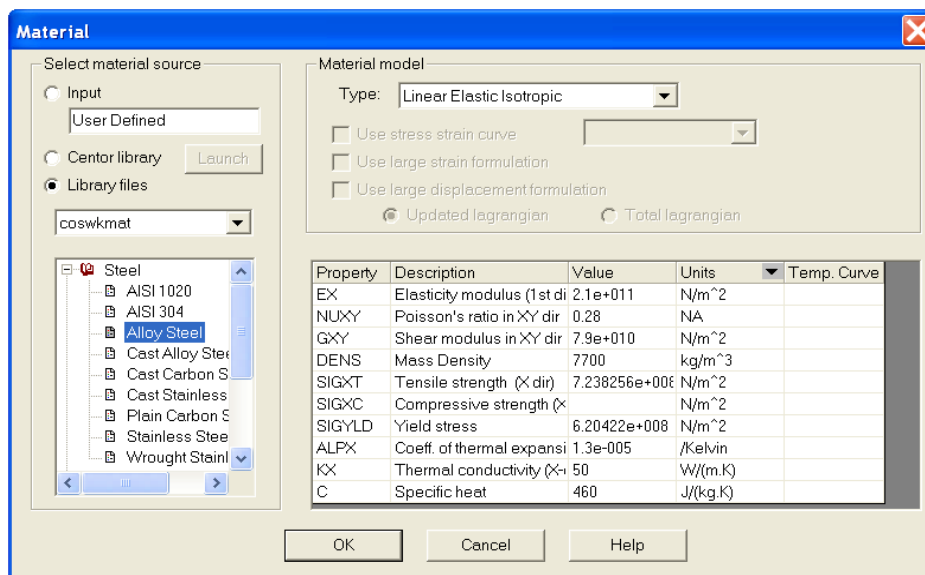


Рисунок 2.3 – Діалогове вікно призначення матеріалу моделі.

4. Задати обмеження зсувів моделі (*Restraint*) для необхідної грані.

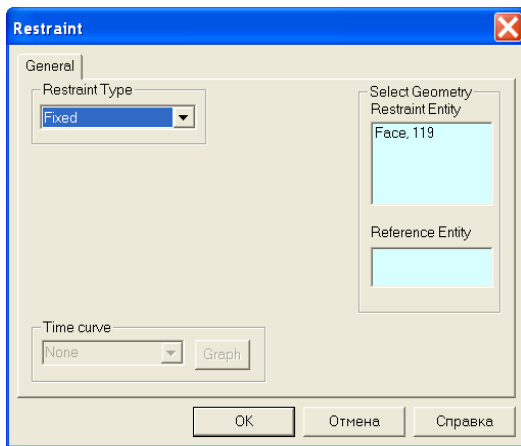
4.1. Натиснути правою кнопкою на папку **Loads/BC** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Restraint**. Відкриється діалогове вікно **Restraint** (рисунок 2.4а):

- в блоці *Restraint Type*:
 - вибрати з випадаючого списку **Fixed** (зафіксувати);
- в просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 119*) – рисунок 2.4б. *Обрана поверхня буде підсвічена у вікні відображення моделі і її назва і номер (Face 119) з'явиться в списку блоку Select Geometry Restraint Entity.*

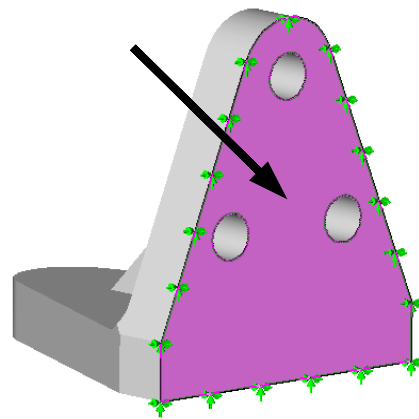
Для вибору декількох елементів, для яких встановлюється обмеження зсувів вказуєте їх у вікні моделі, утримуючи клавішу [Ctrl].

4.2. Натиснути кнопку [OK].

*На обрану поверхню будуть накладені обмеження зсувів. У вікні відображення моделі на обраній поверхні будуть відображені відповідні значки (рисунок 2.4 б). У папці **Loads/BC** в дереві побудови з'явиться значок **Restraint:1**. Цей значок можна використовувати для зміни **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*), для його видалення і виключення з розрахунків – виконуючи на ньому клацання правої кнопки миші і вибираючи відповідні пункти меню – **Edit Define...**, **Delete**, **Suppress**.*



а) діалогове вікно налаштувань **обмеження зсувів** (*Restraint*) типу **зафіксувати** (*Fixed*)



б) **грань** (*Face*), для якої задано **обмеження зсувів** (*Restraint*) типу **зафіксувати** (*Fixed*)

Рисунок 2.4 – Діалогове вікно завдання **обмеження зсувів** (*Restraint*) і модель.

5. Задати **навантаження** на модель (*Loads*) для необхідної грані.

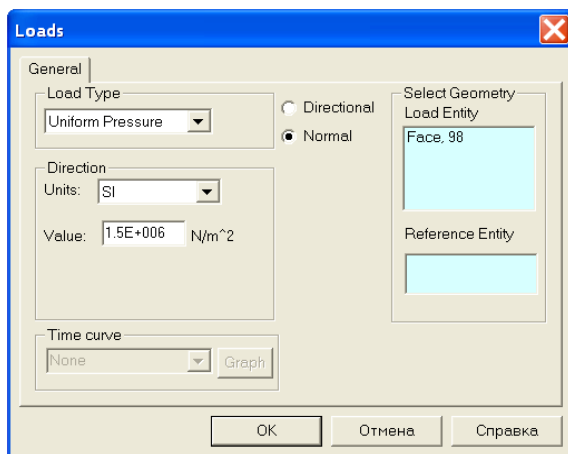
5.1. Натиснути правою кнопкою на папку **Loads/BC** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Load**. Відкриється діалогове вікно **Loads** (рисунок 2.5а):

- в блоці *Load Type*:
 - вибрати з випадаючого списку **Uniform Pressure** (*рівномірний тиск*);
 - вибрати додаток навантаження **Normal** (по нормалі до поверхні);
- в блоці *Direction*:
 - вибрати з випадаючого списку **Units** (*одиниці виміру*) **SI** (*СИ*);
 - задати **Value** (*значення*) = **1.5e+6 N/m²** (*1,5 МПа*);
 - у просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 28*) – рисунок 2.5б.

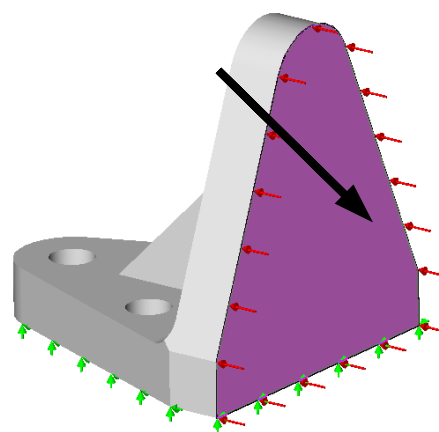
5.2. Натиснути кнопку [**OK**].

*До обраної поверхні будуть прикладені задані навантаження. У вікні відображення моделі на обраній поверхні будуть відображені відповідні значки (рисунок 2.5 б). У папці **Loads/BC** в дереві побудови з'явиться значок **Load: 1**. Цей значок можна використовувати для зміни параметрів **навантаження** (*Load*), для її видалення і виключення з розрахунків – виконуючи на ньому клацання правої кнопки миші і вибираючи відповідні пункти меню – **Edit Define...**, **Delete**, **Suppress**.*

*Для зміни напрямку дії навантаження на протилежне введіть її зі знаком **мінус** “-”.*



а) діалогове вікно налаштувань навантаження (Loads) типу **рівномірний тиск** (Uniform Pressure)



б) **грань** (Face), до якої прикладене навантаження (Loads) типу **рівномірний тиск** (Uniform Pressure)

Рисунок 2.5 – Діалогове вікно налаштувань навантажень (Loads) і модель.

6. Створити кінцево-елементну сітку (Mesh).

6.1. Натиснути правою кнопкою на папці **Mesh** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Create...** відкриється діалогове вікно (рисунок 2.6).

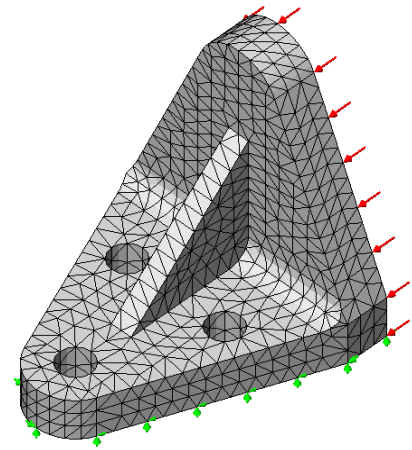
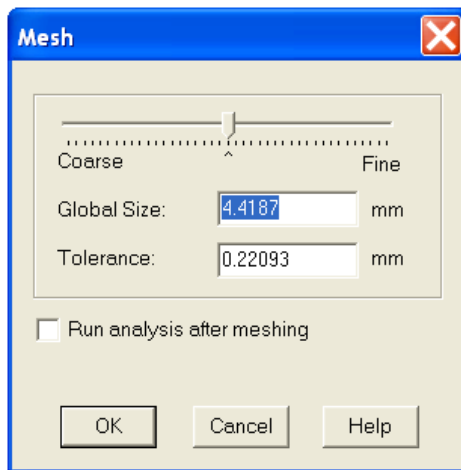
*У вікні **Mesh** можна відрегулювати розміри створюваних елементів звичайно-елементної сітки або пересуваючи бігунок між **великий** (Coarse) і **дрібний** (Fine), або задавши розміри елемента (Global Size) і допустиме відхилення (Tolerance).*

6.2. Натиснути кнопку [OK].

*Кінцево-елементна сітка створюється в автоматичному режимі, після закінчення вона буде відображена у вікні відображення моделі (рисунок 2.7 б). Значок **Mesh** буде позначений червоною "пташкою".*

*Для того, щоб приховати відображення сітки потрібно натиснути правою кнопкою на папці **Mesh** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Hide Mesh** (для відображення сітки служить пункт **Show Mesh**).*

*Для виконання розрахунків відразу після створення кінцево-елементної сітки позначте пункт **Run analysis after meshing** (рисунок 2.6 а).*



а) діалогове вікно налаштувань при створенні кінцево-елементної сітки (Mesh)

б) модель з кінцево-елементною сіткою (Mesh)

Рисунок 2.6 – Діалогове вікно при створенні кінцево-елементної сітки (Mesh) і модель з кінцево-елементною сіткою.

7. Виконати розрахунок – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **My First Study** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.

У інформаційному вікні (рисунок 2.7), в залежності від налаштувань проекту, відображається:

- **тип вирішувача** (Iterative Solver);
- **кількість вузлів** у моделі (Nodes);
- **кількість кінцевих елементів** у моделі (Elements);
- **число ступенів свободи** моделі (D. O. F);
- **хід рішення** в %;
- **витрачений час**.

Після закінчення в дереві проекту будуть відображені папки з **напруженнями** (Stress), **відносними деформаціями** (Strain) і **переміщеннями** (Displacement) моделі.

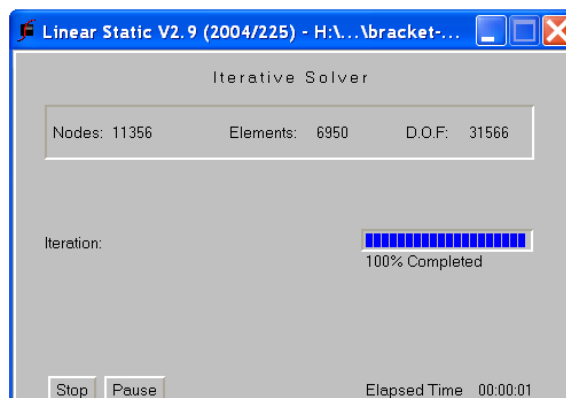


Рисунок 2.7 – Інформаційне вікно про хід рішення.

8. Відобразити результати розрахунків (Plot).

8.1. Для **напружень (Stress)** налаштувати відображення **Plot:1** (рисунок 2.8а):

- на вкладці **Display**:
- вибрати з випадаючого списку **Units (одиниці виміру)** **MPa (МПа)**;

8.2. Для **переміщення (Displacement)** налаштувати відображення **Plot:2** (рисунок 2.8б):

- на вкладці **Display**:
- вибрати з випадаючого списку **Units (одиниці виміру)** **mm (мм)**;

8.3. Для **відносних деформацій (Strain)** налаштувати відображення **Plot:3** міняти не потрібно (рисунок 2.8в):

За замовчуванням відображення результатів виконується в колірній схемі на моделі. У правій частині вікна відображення моделі наведена колірна шкала, в лівому верхньому кутку – інформація про модель і результати (ім'я файлу, ім'я проекту, тип аналізу, одиниці виміру, масштаб деформування моделі)).

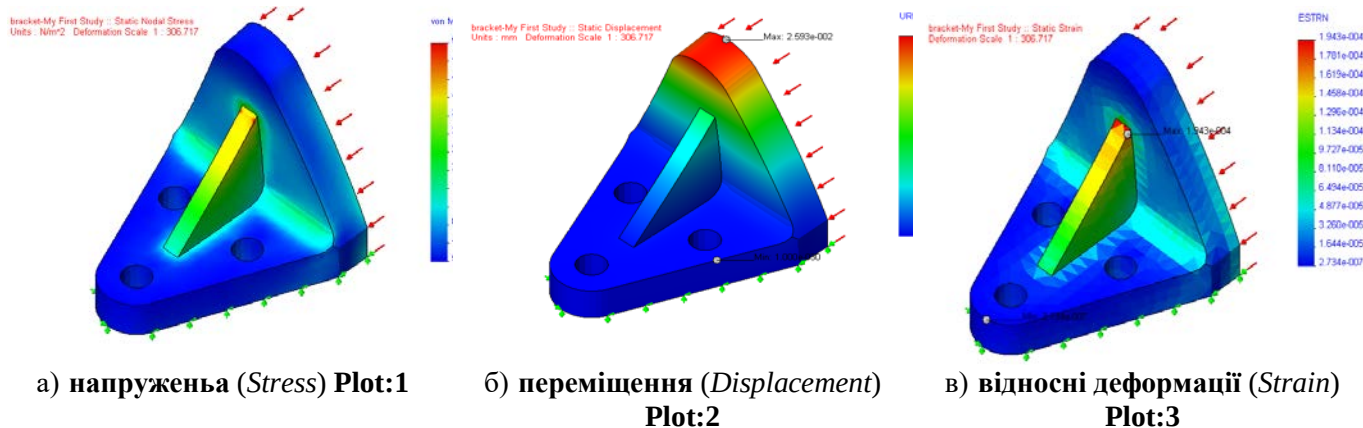


Рисунок 2.8 – Результати розрахунків в графічному вигляді.

9. Перевірити міцність моделі (Design Check).

9.1. Натиснути правою кнопкою на папці **Design Check** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Define...** або вибрати в текстовому меню **Tools, Design Check Wizard**. Відкриється діалогове вікно **Design Check Wizard**, використовуючи який за 3 кроки виконується перевірка (рисунок 2.9):

9.2. На першому кроці (рисунок 2.9а):

- в блоці **Criterion**:
- вибрати **Maximum von Mises stress (критерій Мізеса)**;
- натиснути кнопку **[Next>]**.

9.3. На другому кроці (рисунок 2.9б):

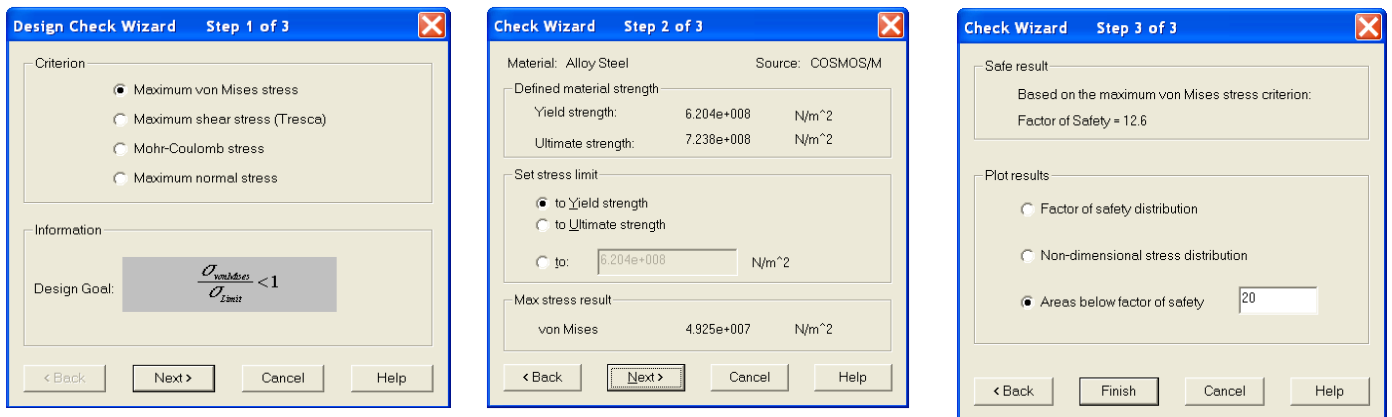
- в блоці **Set stress limit**:
- вибрати **to Yield strenght (за межею плинності)**;
- натиснути кнопку **[Next>]**.

9.4. На другому кроці (рисунок 2.9в):

- в блоці **Plot results**:
- вибрати **Areas below factor of safety (значення менше умови міцності)**;
- ввести значення коефіцієнта запасу міцності = **20**.

9.5. Натиснути кнопку **[Finish]**.

Області моделі, де умова міцності виконується – підсвічуються **синім** кольором, де немає – **червоним** (рисунк 2.10).



а) крок 1

б) крок 2

в) крок 3

Рисунок 2.9 – Діалогові вікна налаштувань при перевірці міцності моделі.

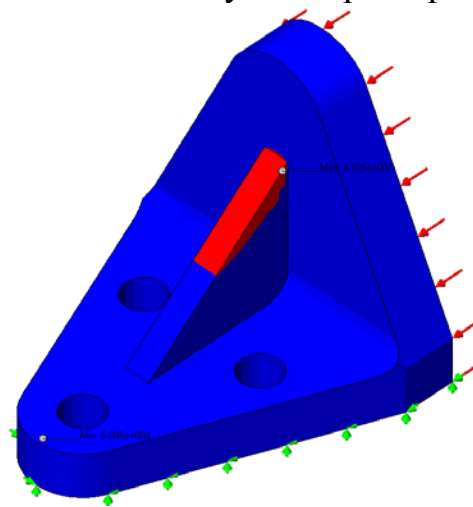


Рисунок 2.10 – Результат перевірки міцності моделі..

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9,10] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

УПРАВЛІННЯ ВІДОБРАЖЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКІВ

Вивчити:

- ✓ створення **відображення** (*Plot*) результатів розрахунків в графічному вигляді:
 - **напружень** (*Stress*);
 - **переміщень** (*Displacement*);
 - **відносних деформацій** (*Strain*);
- ✓ асоціювання **орієнтації** (*Orientation*) моделі з відображенням;
- ✓ відображення результатів для **частини** моделі;
- ✓ налаштування **одиниць виміру** (*Units*), **масштабу** (*Scale*) деформування для **відображення** (*Plot*) і т.п.;
- ✓ налаштування **типу побудови** – у вигляді **точок** (*Point*), **векторів** (*Vector*), **ліній** (*Line*), **колірних ліній** (*Fringe*), **напівтонів** (*Tone*), **ізоліній** (*Iso*) и т.п.

3.1. Відображення результатів розрахунків.

Система "COSMOS/DesignSTAR" дозволяє відображати результати розрахунків в графічному і текстовому (табличному) вигляді.

Після виконання розрахунків "COSMOS/DesignSTAR" в візуалізаторі створює папки, в яких поміщаються результати розрахунків – **напруження** (*Stress*), **переміщення** (*Displacement*), **відносні деформації** (*Strain*) і **деформований стан** (*Deformation*), які називаються **побудови** (*Plot*) за замовчуванням – *Plot:1*, *Plot:2* і т.д. (рисунок 3.1). Ці побудови можна відредагувати, або створити нові. Виконавши подвійне клацання мишкою на відповідній **побудові** (*Plot:n*) у вікні відображення моделі будуть показані (рисунок 3.1) *розподілу* обраних величин на самій моделі, праворуч – *масштабна колірна шкала* виведених величин, зліва вгорі – *довідкова інформація*.

Довідкова інформація виводиться у два рядки:

- у першому рядку – ім'я файлу/назва проекту/тип результатів які виводяться;
- у другому рядку – одиниці виміру/величина деформування моделі..

Для того, щоб створити нову **побудову** (*Plot*) (*Plot:5* на рисунку 3.1) необхідно:

- натиснути правою кнопкою на відповідній папці **Stress/Strain/Displacement** в дереві побудови;
- вибрати в меню пункт **Define**;
- натиснути кнопку **[Ok]**.

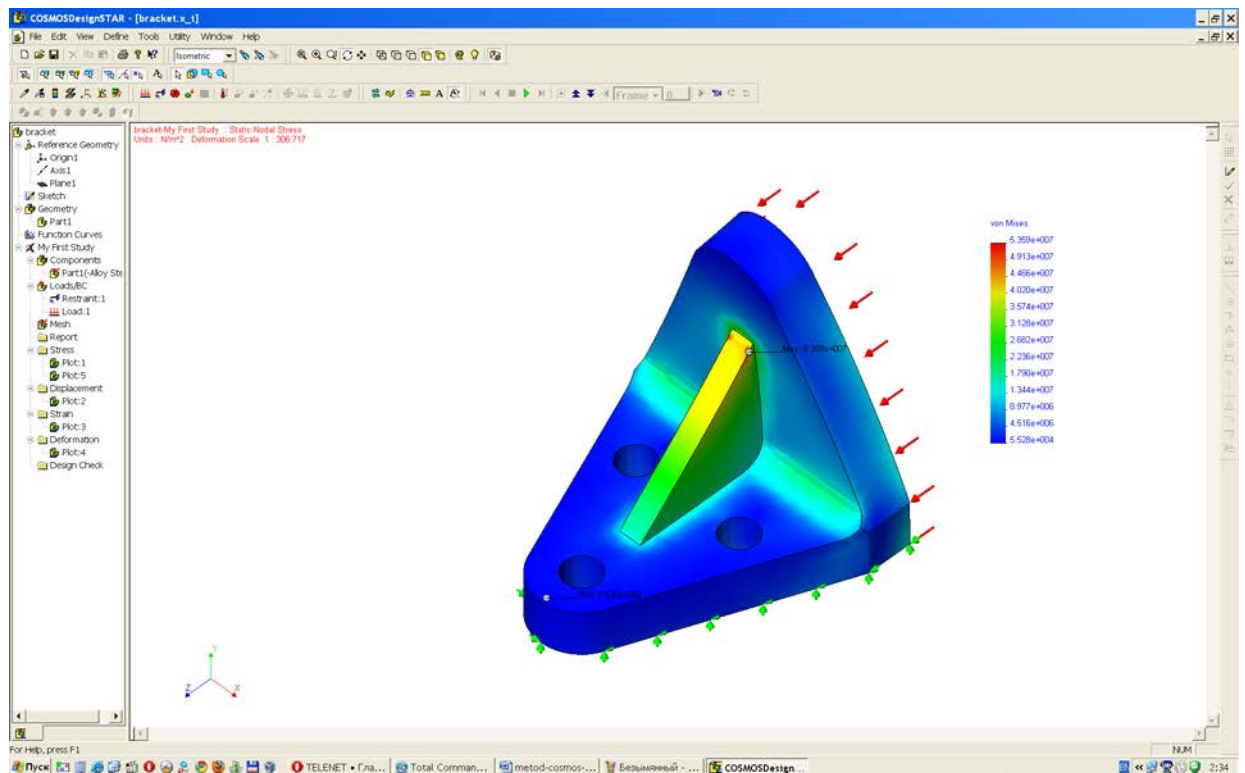


Рисунок 3.1 – Відображення результатів розрахунків в графічному вигляді.

При візуалізації результатів є можливість змінювати налаштування відображення результатів. Частина налаштувань є однаковими при відображенні **напружень** (*Stress*), **переміщень** (*Displacement*), **відносних деформацій** (*Strain*), частина – залежить від виду відображення.

Серед загальних налаштувань можна відзначити:

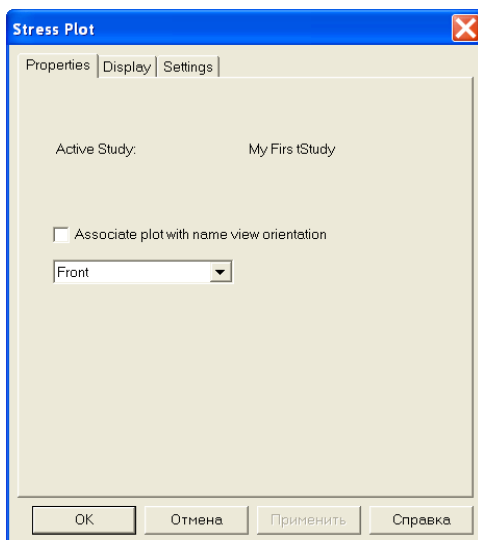
- можливість при відображенні побудови встановлювати **орієнтацію** (*Orientation*) деталі;
- відображати крім результатів – **контур моделі** (*Border*) і **кіцево-елементну сітку** (*Mesh*);
- відображати модель в **деформованому стані** (*Deformation*), із завданням **масштабу** (*Scale*) деформування на екрані;
- відображати і змінювати **одиниці виміру** (*Units*);
- відображати **найбільші** і **найменші** значення (*Minimum, Maximum*);
- відображати **колірну шкалу** і керувати нею;
- відображати значення для **вузлів** (*Node*) або **елементів** (*Element*);
- відображати результати в різному вигляді;
- відображати результати для **частини** моделі (*Section*) і (*Clipping*), виконуючи перетин **площиною** (*Plane*), **циліндром** (*Cylinder*) або **сферою** (*Sphere*).

Крім того є можливість представляти результати (напруження, відносні деформації, переміщення, реакції і т.п.) для окремих компонентів (**вузли** (*Node*), **елементи** (*Element*), **вершини** (*Vertex*), **ребра** (*Edge*) і **поверхні** (*Face*)) в текстовому (табличному) вигляді (з можливістю збереження у файлі).

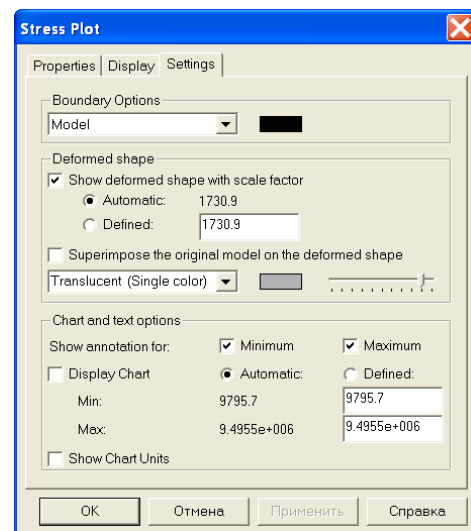
3.2. Загальні налаштування при відображенні напружень, переміщень і відносних деформацій

При візуалізації результатів є можливість змінювати налаштування відображення результатів, які залежать від виду інформації, що відображається – напруження, відносні деформації, переміщення. Вікно налаштувань має три закладки – *Properties*, *Display*, *Setting*. Закладки *Properties* і *Setting* є загальними для напружень, переміщень і відносних деформацій (рисунк 3.2), вміст закладки *Display* – залежить від виду відображуваного результату (**напруження (Stress)**, **переміщення (Displacement)**, **відносні деформації (Strain)**).

Для виклику вікна налаштувань відображення результатів необхідно вибрати **Define, Results Plot** і відповідно **Stress/Strain/Displacement** в текстовому меню або натиснути правою кнопкою на назві папки **Plot:n** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Edit Definition**.



а) діалогове вікно з налаштуваннями властивостей (*Properties*) відображення (*Plot*)



б) діалогове вікно з налаштуваннями установок (*Setting*) відображення (*Plot*)

Рисунок 3.2 – Діалогові вікна загальних налаштувань при відображенні результатів розрахунків у графічному вигляді.

На закладці Properties:

- відображається назва проекту **Active Study** – *My First Study*;
- є можливість при відображенні даної побудови **встановлювати орієнтацію деталі** (*Associate plot with name view orientation*) – види **спереду** (*Front*), **ззаду** (*Back*), **зверху** (*Top*), **знизу** (*Bottom*), **справа** (*Right*), **зліва** (*Left*).

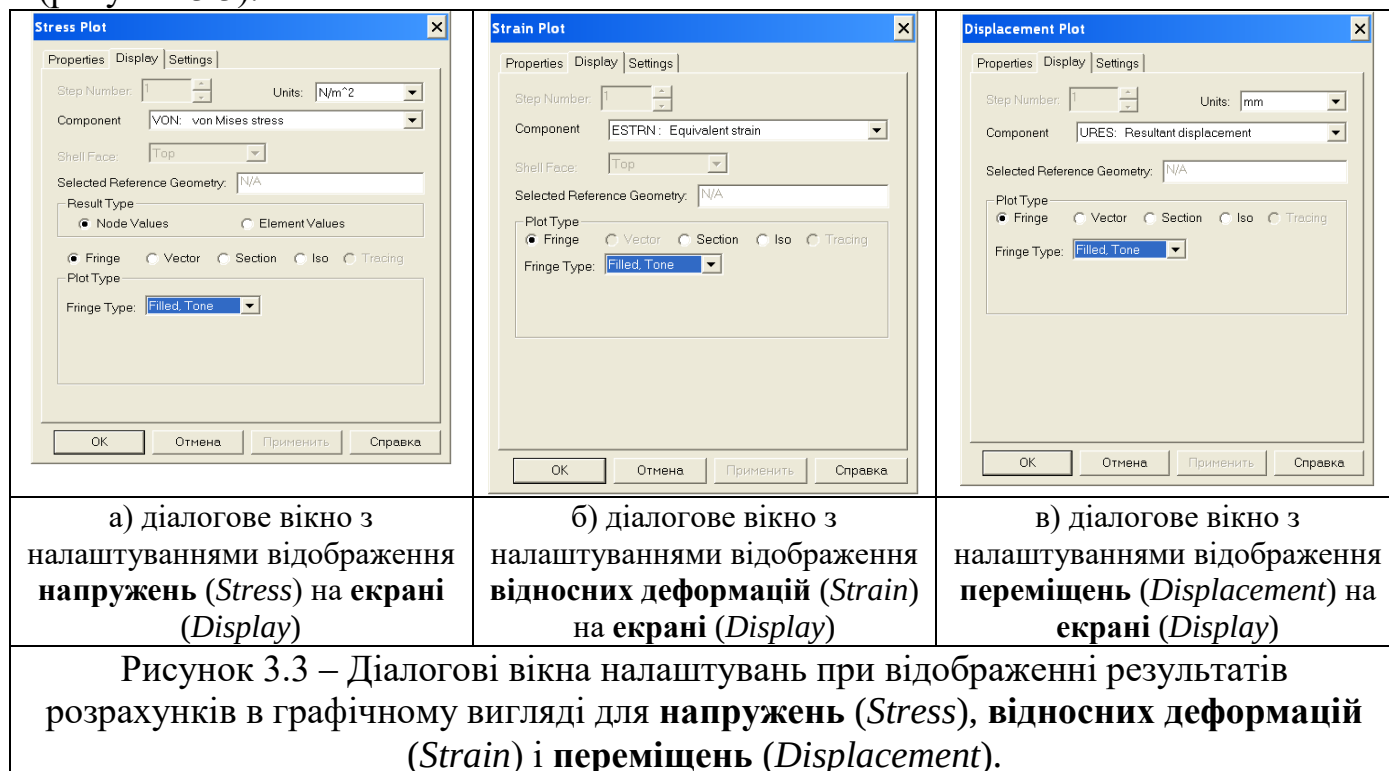
На закладці Setting.

- в блоці Boundary Options:
- при відображенні даної побудови налаштувати відображення меж **моделі** (*Model*) або **кінцево-елементної сітки** (*Mesh*) або **вимкнути** відображення (*None*), а також задати їх колір.
- в блоці Deformed Shape:

- налаштовувати вигляд і властивості моделі в деформованому вигляді: **показувати модель деформованому вигляді з масштабом деформування** (*Show deformed shape with scale factor*), масштаб деформування можна задати **автоматично** (*Automatic*) або ввести **вручну** (*Defined*);
- включити додаткове відображення моделі в первісному, **недеформованому стані** (*Superimpose the original model on the deformed shape*), а також налаштувати її колір і прозорість.
- в блоці Chart and text options:
- налаштувати відображення **колірної шкали** (*Display Chart*);
- налаштувати одиниць виміру (*Show Chart Units*);
- **мінімального** (*Minimum*) і **максимального** (*Maximum*) значень;
- призначити межі колірної шкали: **автоматично** (*Automatic*) або ввести **вручну** (*Defined*).

3.3. Налаштування відображення напружень, відносних деформацій і переміщень

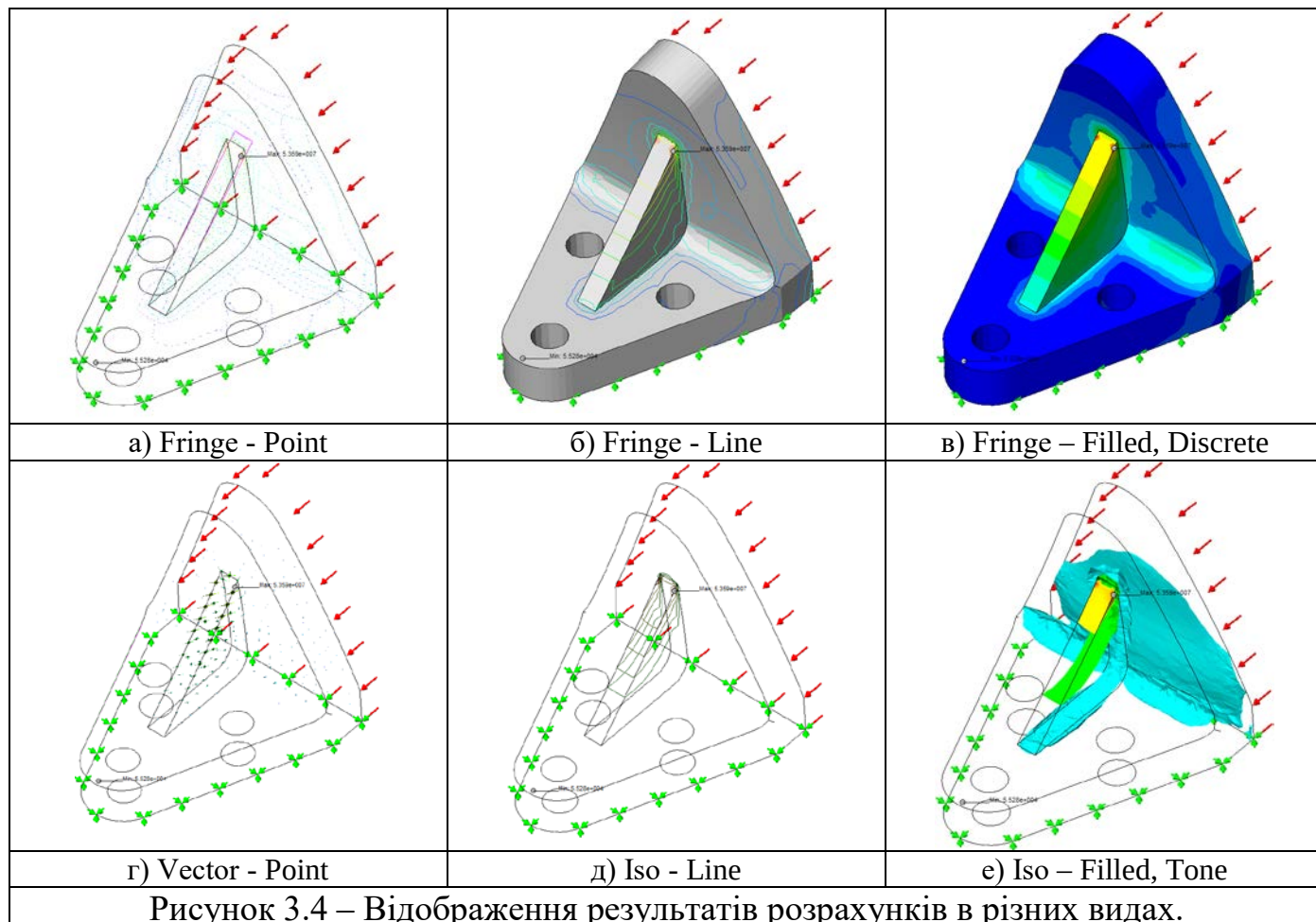
Вид закладки *Display* залежать від виду відображуваного результату (**напруження** (*Stress*), **переміщення** (*Displacement*), **відносні деформації** (*Strain*) (рисунок 3.3).



На закладці Properties:

- в блоці Boundary Options:
- є можливість налаштувати відображення **одиниць виміру** (*Units*);
- відображуваного **компонента** (*Component*);

- напружень (рисунок 3.3 а) можна налаштувати тип напружень: по **вузлам** (*Node values*) або за **елементами** (*Element values*)
- **тип побудови** (*Plot Type*) – у вигляді **точок** (*Point*), **векторів** (*Vector*), **ліній** (*Line*), **колірних ліній** (*Fringe*), **півтонів** (*Tone*), **ізоліній** (*Iso*), **заливок** (*Filled*) і їх комбінацій – (рисунок 3.4).



3.4. Налаштування відображення результатів для частини моделі

При відображенні результатів розрахунків в графічному вигляді є можливість показувати частину моделі, виконуючи кілька перетинів площиною, циліндром, сферою або їх комбінаціями.

Відображення частини моделі можливе для режимів відображення **частина моделі** (*Section*) і **ізолінії** (*Iso*).

1. Для режиму **ізолінії** (*Iso*), у відповідному вікні (рисунок 3.5 а) налаштовується **кількість ізоліній** (*No. of Surfaces*). Для цього необхідно:

- для відповідної **побудови** (*Plot:nn*):
- на вкладці Display:
- переключити режим *Iso*;
- ввести кількість **ізоліній/ізоповерхонь** в поле *No. of Surface* (наприклад = 3);

- натиснути кнопку [OK].
- для налаштування відображення кожної **ізолінії/ізоповерхні (Iso)** необхідно:
- вибрати в текстовому меню **Tools, Clipping...** – з'явиться вікно [Iso Plot Clipping] – (рисунок 3.5б):

У цьому вікні значення для кожної ізолінії виконується на кожній відповідній вкладці (**Iso0, Iso1, Iso2**). Значення можна або пересуваючи бігунок, або вводячи чисельні значення і натиснувши кнопку [Set Value].

- ввести для поверхні **Iso0 = $1e+7$** ;
- ввести для поверхні **Iso1 = $2e+7$** ;
- ввести для поверхні **Iso2 = $4e+7$** ;
- натиснути кнопку [OK].

В результаті отримаємо відображення відповідних ізоліній/ізоповерхонь (рисунок 3.5в).

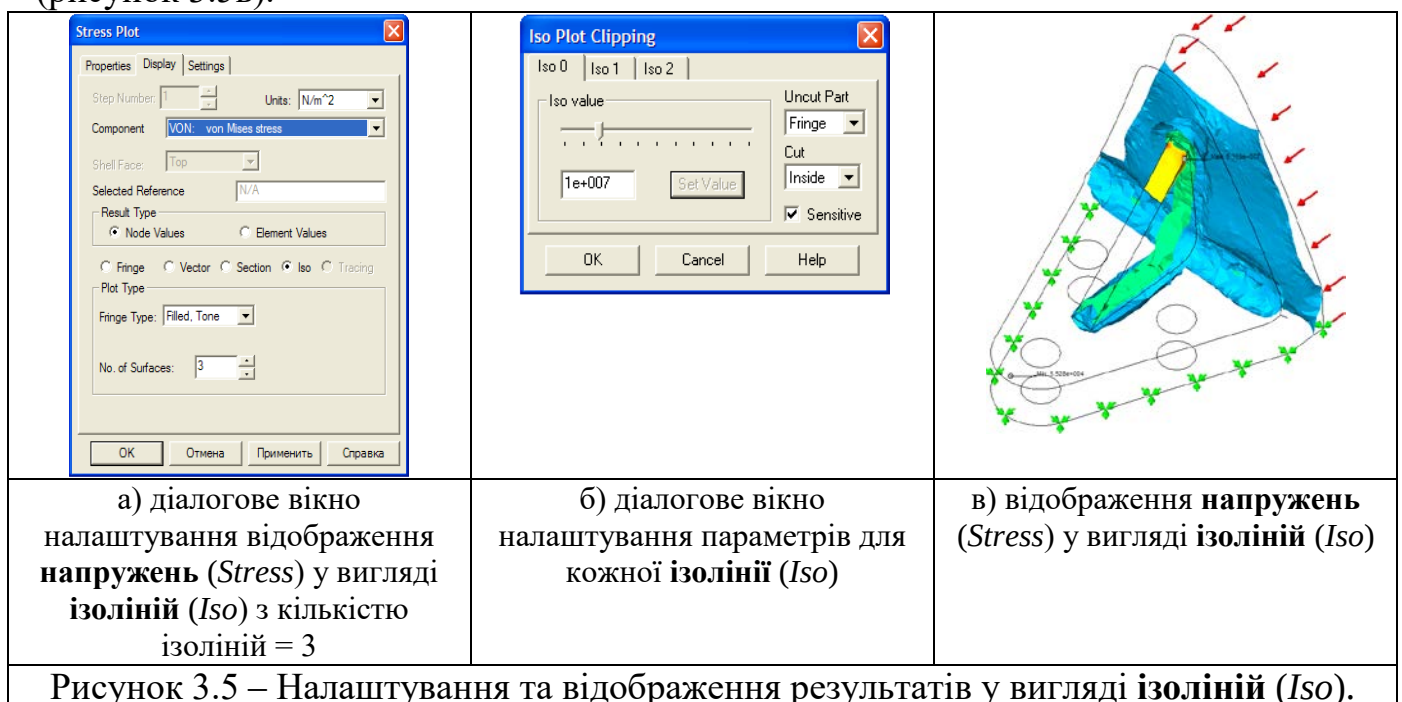


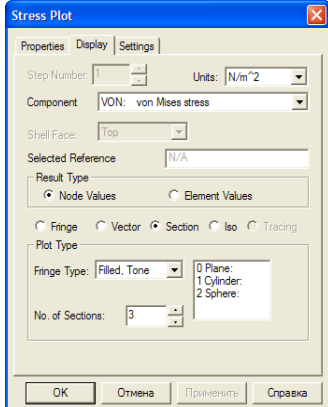
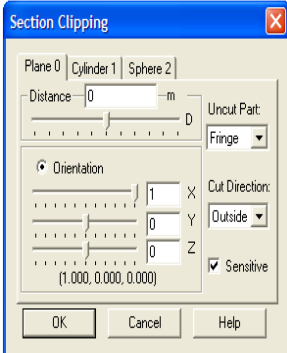
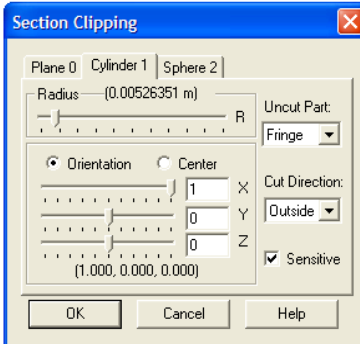
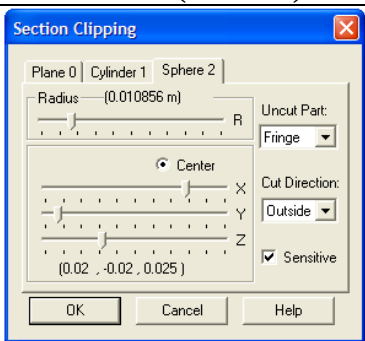
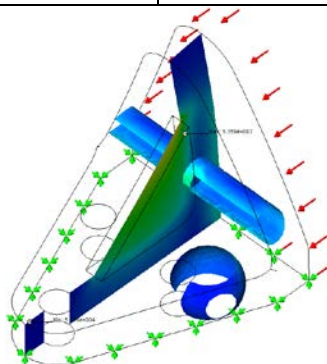
Рисунок 3.5 – Налаштування та відображення результатів у вигляді **ізоліній (Iso)**.

2. Для режиму **частина моделі (Section)**, у відповідному вікні (рисунок 3.5 а) налаштовується **кількість частин (No. of Section)**. Для цього необхідно:

- для відповідної **побудови (Plot: nn)**:
- на вкладці **Display**:
- ввести кількість **секцій** в поле **No. of Section** (наприклад = 3);
- переключити режим **Section**;
- для кожної частини налаштувати тип січної поверхні:
- **площина (Plane)**;
- **циліндр (Cylinder)**;
- **сфера (Sphere)**.
- натиснути кнопку [OK].
- для налаштування відображення кожної **секції (Section)** необхідно:
- вибрати в текстовому меню **Tools, Clipping...** – з'явиться вікно [Iso Plot Clipping] – (рисунок 3.6 а):

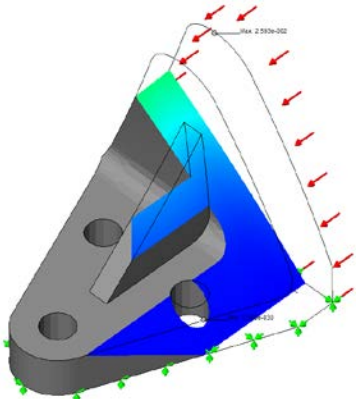
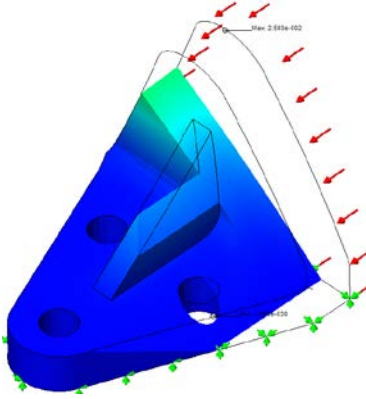
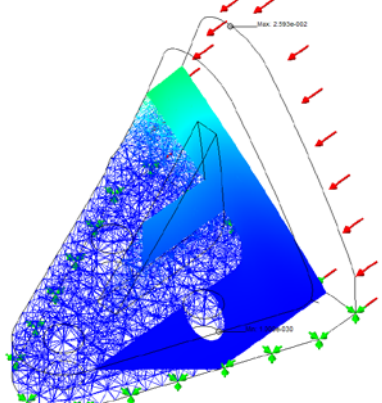
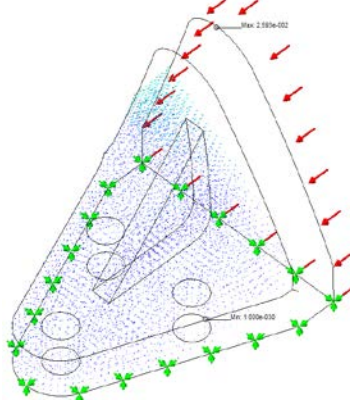
У цьому вікні налаштування для кожної січної поверхні виконується на кожній відповідній вкладці (*Plane0*, *Cylinder1*, *Sphere2*) пересуваючи бігунок або вводячи чисельні значення .

- для січної **площини** (*Plane*) – (рисунок 3.6б):
- **відстань** січної площини від центру моделі (*Distance*) = **0**;
- направляючі косинуси щодо **осей** (*Axis*) X, Y, Z – **орієнтація** (*Orientation*) **X = 1, Y = 0, Z = 0**;
- для січного **циліндра** (*Cylinder*) – (рисунок 3.6в):
- **радіус** (*Radius*) = **0,005**;
- розташування **центру** січного циліндра щодо центру моделі в напрямках X, Y, Z – (*Center*) **X = 1, Y = 0, Z = 0,01**;
- направляючі косинуси щодо **осей** (*Axis*) X, Y, Z – **орієнтація** (*Orientation*) **X = 1, Y = 0, Z = 0**;
- для січного **сфери** (*Sphere*) – (рисунок 3.6г):
- **радіус** (*Radius*) = **0,01**;
- розташування **центру** січного циліндра щодо центру моделі в напрямках X, Y, Z – (*Center*) **X = 0.02, Y = -0.02, Z = 0.025**;
- натиснути кнопку **[OK]**.

		
а) діалогове вікно налаштування відображення напружень (<i>Stress</i>) у вигляді частин (<i>Sections</i>)	б) діалогове вікно налаштування параметрів для січної площини (<i>Plane</i>)	в) діалогове вікно налаштування параметрів для секційного циліндра (<i>Cylinder</i>)
		
г) діалогове вікно налаштування параметрів для січної сфери (<i>Sphere</i>)	д) відображення напружень (<i>Stress</i>) для частини моделі, розсіченої площиною (<i>Plane</i>), циліндром (<i>Cylinder</i>) і сферою (<i>Sphere</i>)	
Рисунок 3.6 – Налаштування та відображення результатів у вигляді частини моделі (<i>Section</i>).		

3. При відображенні частини моделі для режимів відображення **частина моделі (Section)** і **ізолінії (Iso)** загальними настройками є:

- відображення **незрізаної частини (Uncut Part)**:
- у **відтінках сірого кольору (Shaded)** – (рисунок 3.7а);
- у вигляді **колірних ліній (Fringe)** – (рисунок 3.7б);
- у вигляді **кінцево-елементної сітки (Mesh)** – (рисунок 3.7в);
- у вигляді **векторів (Vector)** – (рисунок 3.7г);
- **напрямок зрізання (Cut Direction)**: **пряме (Inside)**; **зворотне (Outside)**; **обидва напрямки (Both)**.

	
а) відображення незрізаної частини (Uncut Part) у відтінках сірого кольору (Shaded)	б) відображення незрізаної частини (Uncut Part) у вигляді колірних полів (Fringe)
	
в) відображення незрізаної частини (Uncut Part) у виді кінцево-елементної сітки (Mesh)	г) відображення незрізаної частини (Uncut Part) у вигляді векторів (Vector)
Рисунок 3.7 – Налаштування і відображення результатів у вигляді незрізаної частини (Uncut Part) моделі.	

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9-11] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

4. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

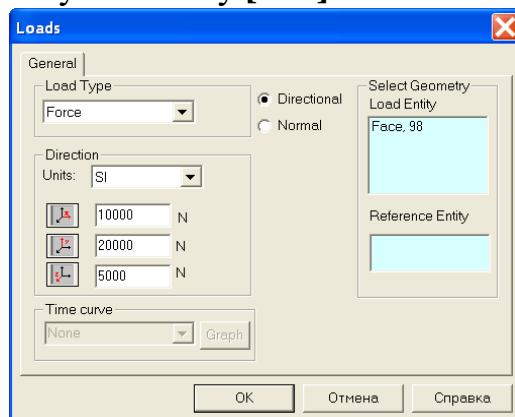
ПРИКЛАДАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ В ЗАДАНОМУ НАПРЯМКУ

Вивчити:

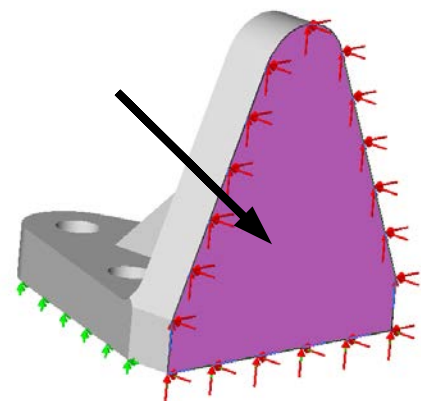
- ✓ прикладання навантажень в заданому **напрямку** (*Direction*);

При виконанні аналізу може знадобитися прикладати навантаження не тільки по нормалі до елементів моделі, але і в заданому напрямку. Для цього в системі "COSMOS/DesignSTAR" можна скористатися прикладанням навантажень в напрямках осей X, Y, Z.

1. Відкрити існуючу модель (см. п.п. 2.1 - 1) – **bracket.x_t**.
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (см. п.п. 2.1 - 2) – **Study_2**.
3. Задати **матеріал** (*Material*) моделі (см. п.п. 2.1- 3) – **Alloy Steel**.
4. Задати **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*) (см. п.п. 2.1 - 4).
5. Задати **навантаження** (*Loads*) в заданому напрямку.
 - 5.1. Натиснути правою кнопкою на папці **Loads/BC** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Load...** відкриється діалогове вікно **Loads** (рисунок 4.1 а):
 - в блоці Load Type:
 - вибрати з випадаючого списку **Force** (*сила*);
 - вибрати прикладання навантаження **Directional** (*у напрямку*);
 - в блоці Direction:
 - вибрати з випадаючого списку **Units** (*одиниці виміру*) **SI** (*СИ*);
 - задати напрямок = **X**;
 - задати значення = **10 kN**;
 - задати напрямок = **Y**;
 - задати значення = **20 kN**;
 - задати напрямок = **Z**;
 - задати значення = **50 kN**;
 - у просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 98*) - рисунок 4.1б.
 - 5.2. Натиснути кнопку **[OK]**.



а) діалогове вікно налаштувань **навантаження** (*Loads*) типу **сила** (*Force*)



б) **грань** (*Face*), до якої прикладене **навантаження** (*Loads*) типу **сила** (*Force*)

Рисунок 4.1 – Діалогове вікно завдання **навантажень** (*Loads*) і модель.

6. Створити **кінцево–елементну сітку** (*Mesh*) – натиснути правою кнопкою миші на папці **Mesh** в дереві рішень, вибрати в меню пункт **Create** і у вікні **Mesh** натиснути кнопку **[Ok]**.
7. Виконати **розрахунок** (*Run*) – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_2** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
8. **Відобразити** результати розрахунків (*Plot*) (см. п.п. 2.1 - 8).
9. **Перевірити міцність** моделі (*Design Check*) (см. п.п. 2.1 - 9).

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

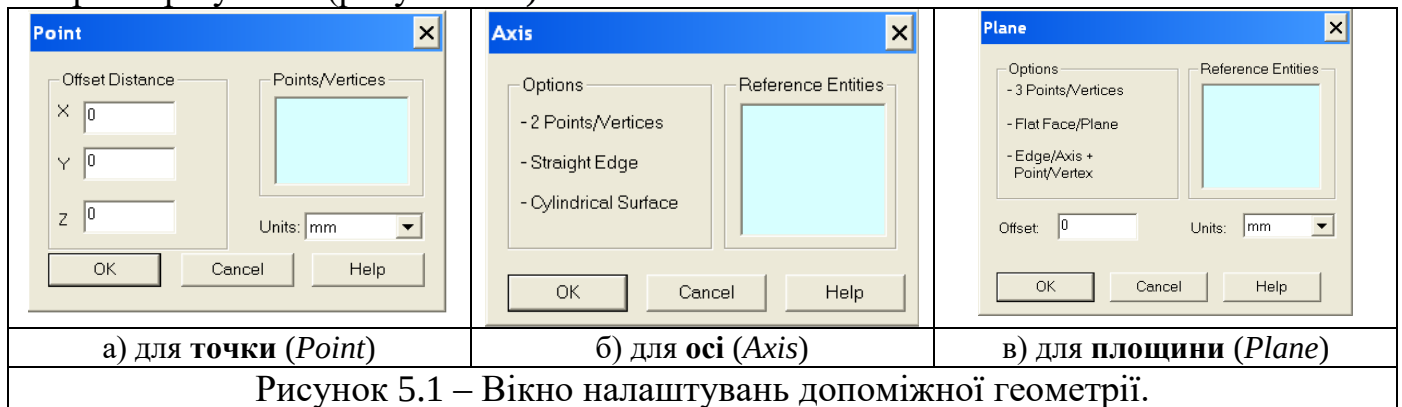
При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [10,11] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

5. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4 СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОПОМІЖНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Вивчити:

- ✓ створення і використання **допоміжної геометрії** (*Reference Geometry*);

При виконанні аналізу може знадобитися створення **допоміжної геометрії** (**Reference Geometry**): **точки** (*Point*), **осі** (*Axis*), **площини** (*Plane*), які безпосередньо не формують модель, проте використовуються для посилок на них. Наприклад, при завданні крутного моменту крім поверхні, до якої він прикладений, необхідно вказати вісь обертання. Для кожного з елементів допоміжної геометрії існує кілька способів її завдання. Для створення допоміжної геометрії необхідно в текстовому меню вибрати **Define, Reference Geometry, Point/Axis/Plane** і задати відповідні параметри у вікні (рисунок 5.1).



При створенні **точки** (*Point*) необхідно вказати іншу точку або вершину за трьома координатами (рисунок 5.1 а).

Створення **осі** (*Axis*) можна виконати трьома способами, вказавши необхідні елементи у вікні моделі (рисунок 5.1 б):

- за **двома точками/вершинами** (*2 Points/Vertices*);
- по **прямолінійному ребру** (*Straight Edge*);
- по **циліндричній поверхні** (*Cylindrical Surface*).

Створення **площини** (*Plane*) можна виконати трьома способами, вказавши необхідні елементи у вікні моделі і задавши зміщення (рисунок 5.1 в):

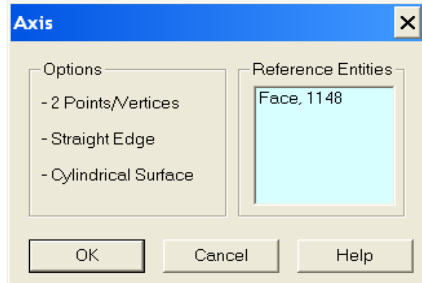
- за **трьома точками/вершинами** (*3 Points/Vertices*);
- по **плоскій поверхні** або іншій площині (*Flat Face/Plane*);
- вказавши **ребро/ось** (*Point/Vertex*) + **точку/вершину** (*Edge/Axis*).

1. Відкрити існуючу модель (див. п.п. 2.1 - 1) – **bracket.x_t**.
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (див. п.п. 2.1 - 2) – **Study_3**.
3. Задати **матеріал** (*Material*) моделі (див. п.п. 2.1 - 3) – **Alloy Steel**.
4. Задати **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*) (див. п.п. 2.1 - 4).
5. Створити **допоміжну геометрію** (*Reference Geometry*).

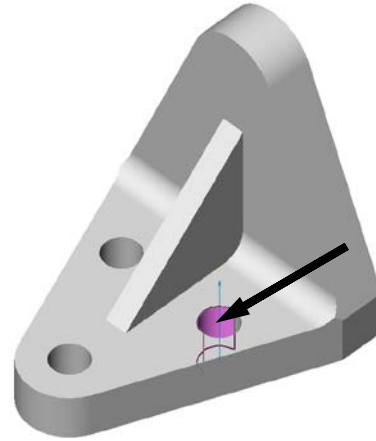
5.1. Вибрати в текстовому меню **Define, Reference Geometry, Axis** – відкриється діалогове вікно **Axis** (рисунок 5.2а):

- у просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 1148*) – (рисунок 5.2б), при цьому в активному вікні (**Axis**) в блоці *Reference Entities* з'явиться відповідний запис.

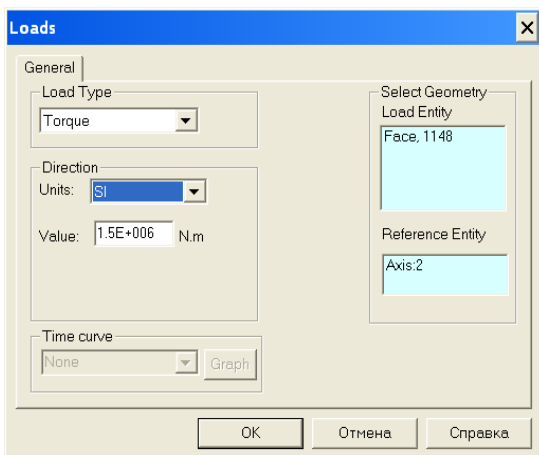
5.2. Натиснути кнопку **[OK]**. У дереві побудови з'явиться нова вісь **Axis:2**.



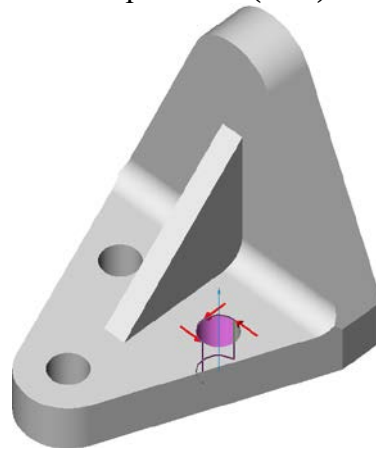
а) діалогове вікно для **осі** (**Axis**)



б) циліндрична **грань** (*Face*), за якою створена **ось** (**Axis**)



в) діалогове вікно налаштувань **навантаження** (**Loads**) типу **сила** (*Force*)



г) **грань** (*Face*), до якої прикладене навантаження (**Loads**) типу **сила** (*Force*)

Рисунок 5.2 – До створення допоміжної геометрії (**Reference Geometry**) і її використання при прикладанні і навантаження.

6. Задати **навантаження** (**Loads**), при якому **крутний момент** (*Torque*) = **1,5 МН**, прикладаємо до необхідної межі:

6.1. Натиснути правою кнопкою на папці **Loads/BC** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Load...** відкриється діалогове вікно **Loads** (рисунок 5.2 в):

- в блоці *Load Type*:
- вибрати з випадаючого списку **Torque** (*крутний момент*);
- в блоці *Direction*:
- вибрати з випадаючого списку **Units** (*одиниці виміру*) **SI** (*CI*);
- задати значення = **1.5e6 Н·м**;
- у просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 1148*) – рисунок 5.2 г;

- в дереві побудови вказати необхідну **вісь** (*Axis:2*) – рисунок 5.2 г, при цьому в блоці *References Entity* з'явиться відповідний елемент *Axis:2*;

6.2. Натиснути кнопку **[OK]**.

7. Створити **кінцево-елементну сітку** (*Mesh*) – натиснути правою кнопкою миші на папці **Mesh** в дереві рішень, вибрати в меню пункт **Create** і у вікні **Mesh** натиснути кнопку **[Ok]**.
8. Виконати **розрахунок** (*Run*) – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_3** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
9. **Відобразити** результати розрахунків (*Plot*) (див. п.п. 2.1 - 8).
10. **Перевірити міцність** моделі (*Design Check*) (див. п.п. 2.1 - 9).

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див. додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9,10] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

6. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ

Вивчити:

- ✓ зміну властивостей матеріалу (*Material*) моделі;

Так як база конструкційних матеріалів, що поставляються разом з системою "COSMOS/DesignSTAR" містить обмежену їх кількість, є можливість задавати властивості матеріалу користувачем. Для зручності можна скористатися існуючим матеріалом як шаблоном. Наприклад, створимо власний матеріал з назвою **MyMaterial** на основі матеріалу **Alloy Steel** з наступними змінами: щільність (*Mass Density*) = **8100 кг/м³**, модуль пружності (*Elastic modulus*) = **1e11 Н/м²**; коефіцієнт Пуассона в площині XY (*Poisson's Ratio in XY dir*) = **0.31**.

1. Відкрити існуючу модель (див. п.п. 2.1 - 1) – **bracket.x_t**.
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (див. п.п. 2.1 - 2) – **Study_4**.
3. Задати **матеріал** (*Material*) моделі.
 - 3.1. Натиснути правою кнопкою на значку **Part1** в папці **Components** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Edit/Define Material**. Відкриється діалогове вікно **Material** (рисунок 6.1):
 - в блоці *Select material source*:
 - вибрати джерело матеріалів **Library files** (бібліотека файлів);
 - вибрати з випадального списку джерело **coswkm**at;
 - у дереві списку матеріалів розкрити папку **Steel** і вибрати матеріал **Alloy Steel**, властивості матеріалу **Alloy Steel** відображаються в таблиці праворуч;
 - в поле **Input** ввести назву матеріалу = **MyMaterial**;
 - вибрати джерело матеріалів **Input** (ручне введення);
 - у таблиці властивостей матеріалу відкоригувати:
 - **Elastic modulus** (модуль пружності) = **1e11 Н/м²**;
 - **Mass Density** (щільність) = **8100 кг/м³**;
 - **Poisson's ratio** (коефіцієнт Пуассона) = **0.31**.
 - 3.2. Натиснути кнопку [OK].

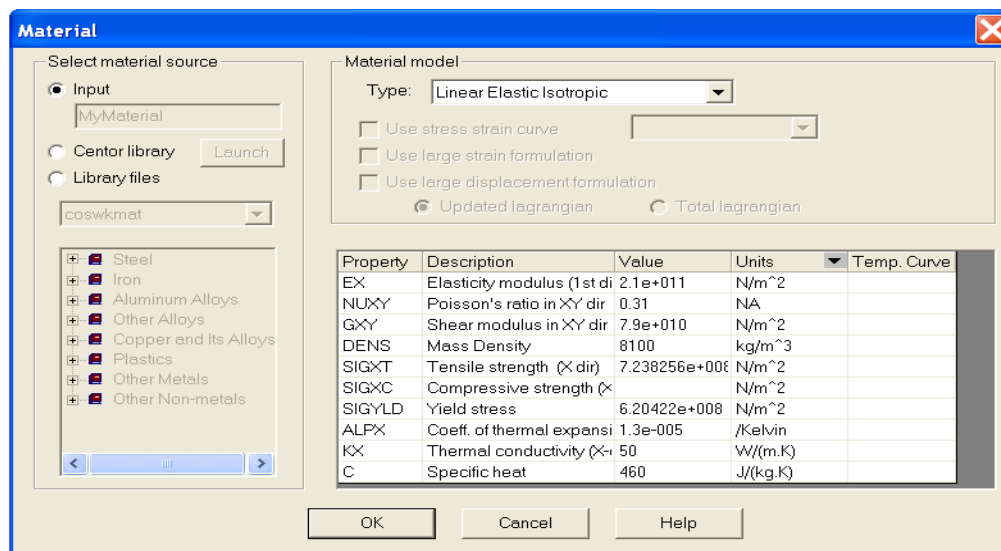


Рисунок 6.1 – Діалогове вікно призначення матеріалу (*Material*) моделі.

4. Задати обмеження зсувів моделі (*Restraint*) (див. п.п. 2.1 - 4).
5. Задати навантаження (*Loads*) (див. п.п. 2.1 - 5).
6. Створити кінцево-елементну сітку (*Mesh*) – натиснути правою кнопкою миші на папці **Mesh** в дереві рішень, вибрати в меню пункт **Create** і у вікні **Mesh** натиснути кнопку **[Ok]**.
7. Виконати розрахунок (*Run*) – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_4** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
8. Відобразити результати розрахунків (*Plot*) (див. п.п. 2.1 - 8).
9. Перевірити міцність моделі (*Design Check*) (див. п.п. 2.1 - 9).

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9-11] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

7. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6 ВИКОНАННЯ АНАЛІЗУ З РІЗНИМИ ВИРІШУВАЧАМИ

Вивчити:

- ✓ налаштування рішення з різними **вирішувачами** (*Solver*);

В системі "COSMOS/DesignSTAR" є кілька "вирішувачів", що застосовуються для різного рівня складності і типів завдань. Розглянемо, як виконується вибір "вирішувача".

1. Відкрити існуючу модель (див. п.п. 2.1 - 1) – **bracket.x_t**.
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (див. п.п. 2.1 - 2) – **Study_5**.
3. Змінити властивості проекту (вибір "вирішувача" *Solver*).
 - 3.1. Натиснути правою кнопкою на назві проекту **MyFirstStudy** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Properties...** відкриється діалогове вікно **Static** (рисунок 7.1):
 - в блоці *Solver*:
 - вибрати необхідний "решатель" – **Direct Sparse, FFE** або **FFEPlus**.
 - 3.2. Натиснути кнопку **[OK]**.

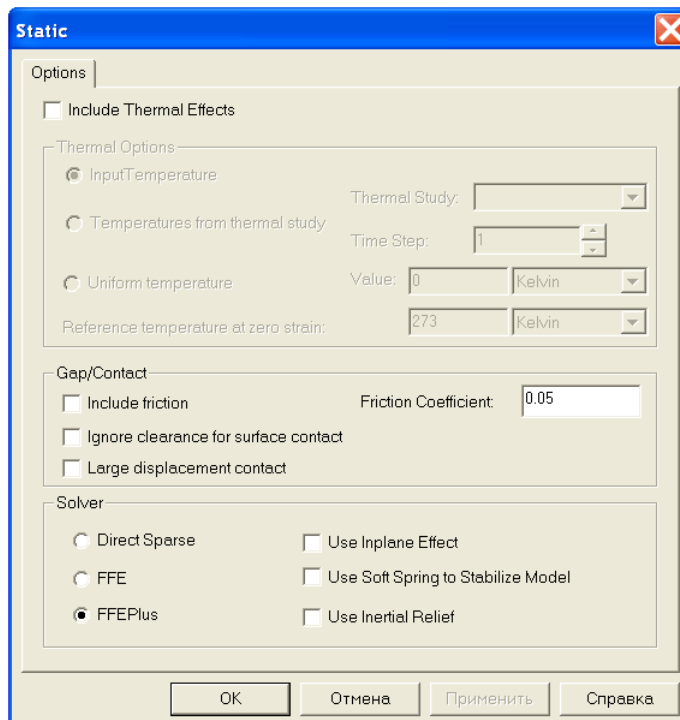


Рисунок 7.1 – Діалогове вікно налаштування **властивостей** (*Property*) проекту

4. Задати **матеріал** (*Material*) моделі (див. п.п. 2.1 - 3) – **Alloy Steel**.
5. Задати **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*) (див. п.п. 2.1 - 4).
6. Задати **навантаження** (*Loads*) (див. п.п. 2.1 - 5).

7. Створити **кінцево-елементну сітку** (*Mesh*) – натиснути правою кнопкою миші на папці **Mesh** в дереві рішень, вибрати в меню пункт **Create** і у вікні **Mesh** натиснути кнопку **[Ok]**.
8. Виконати **розрахунок** (*Run*) – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_5** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
9. **Відобразити** результати розрахунків (*Plot*) (див. п.п. 2.1 - 8).
10. **Перевірити міцність** моделі (*Design Check*) (див. п.п. 2.1 - 9).

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9,10] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

8. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

ЗМІНА КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОЇ СІТКИ ПОБЛИЗУ ВИБРАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

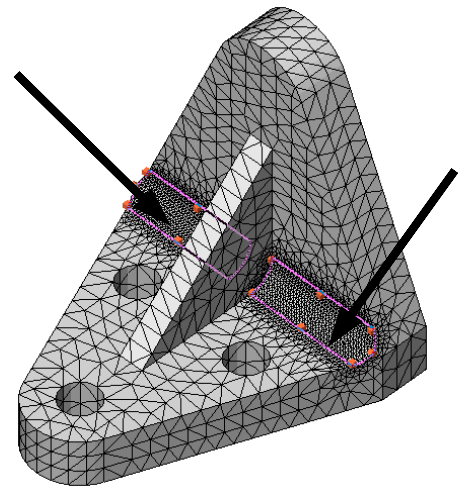
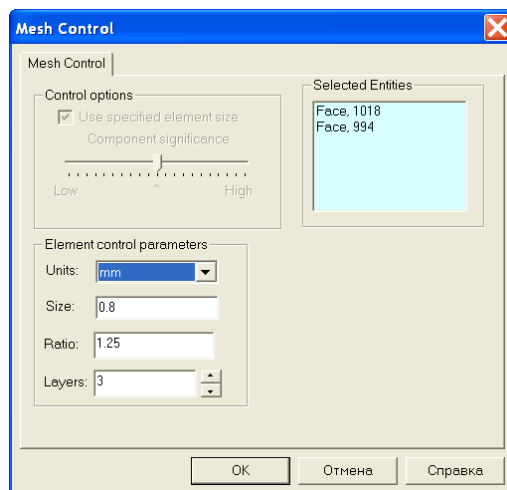
Вивчити:

- ✓ зміна **кінцево-елементної сітки (Mesh)** поблизу вибраних елементів;

Від коректності кінцево-елементної сітки в значній мірі залежить правильність отриманих результатів. Зазвичай рекомендується зменшувати розмір елементів ("згущувати" сітку) в місцях концентрації напружень, при різких переходах в між елементами моделі, в місцях прикладання навантажень і обмежень зміщення моделі.

1. Відкрити існуючу модель (див. п.п. 2.1 - 1) – **bracket.x_t**.
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (див. п.п. 2.1 - 2) – **Study_6**.
3. Задати **матеріал (Material)** моделі (див. п.п. 2.1 - 3) – **Alloy Steel**.
4. Задати **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*) (див. п.п. 2.1 - 4).
5. Задати **навантаження (Loads)** (див. п.п. 2.1 - 5).
6. Змінити **кінцево-елементну сітку (Mesh)**.
 - 6.1. Натиснути правою кнопкою на папці **Mesh** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Apply Control...** відкриється діалогове вікно **Mesh Control** (рисунок 8.1a):
 - в блоці *Element Control Parameters*:
 - ввести **розмір елемента (Size) = 0,8**;
(при необхідності можна змінити **співвідношення розмірів сторін (Ratio)** або число **шарів** зміненої сітки (*Layers*));
 - у просторі моделі вказати необхідні **грані (Face 1018 i Face 994)** – рисунок 8.1б;
 - 6.2. Натиснути кнопку **[OK]**.

(Для обраних поверхонь будуть змінені параметри кінцево-елементної сітки. У вікні відображення моделі на обраній поверхні будуть відображені відповідні значки (рисунок 8.1б). У папці **Mesh** в дереві побудови з'явиться значок **Mesh Control:1**. Цей значок можна використовувати для зміни параметрів кінцево-елементної сітки обраної частини моделі, для його видалення і виключення з розрахунків-виконуючи на ньому клацання правої кнопки миші і вибираючи відповідні пункти меню – **Edit Define..., Delete, Suppress.**)



а) діалогове вікно налаштувань властивостей кінцево-елементної сітки (Mesh) для обраного компонента (Selected entities) моделі

б) ребра (Edge), для яких "згущується" звичайно-елементна сітка кінцево-елементна сітка (Mesh)

Рисунок 8.1 – Діалогове вікно налаштування властивостей кінцево-елементної сітки (Mesh) і модель.

Зауваження. Для попереднього аналізу і швидкого вирішення можна збільшити розмір одержуваних кінцевих елементів, а при остаточному аналізі зменшують їх розмір. Слід зауважити, що навіть незначне зменшення розміру кінцевих елементів призводить до істотного збільшення їх кількості і відповідно часу аналізу, але збільшує точність рішення.

7. Створити **кінцево-елементну сітку (Mesh)** – натиснути правою кнопкою миші на папці **Mesh** в дереві рішень, вибрати в меню пункт **Create** і у вікні **Mesh** натиснути кнопку **[Ok]**.
8. Виконати **розрахунок (Run)** – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_6** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
9. **Відобразити** результати розрахунків (*Plot*) (див. п.п. 2.1 - 8).
10. **Перевірити міцність** моделі (*Design Check*) (див. п.п. 2.1 - 9).

Індивідуальні завдання.

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9,10] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

9. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 РОЗБИТТЯ ПОВЕРХОНЬ НА СКЛАДОВІ

Вивчити:

- ✓ розбиття (*Split*) поверхонь;

Іноді, при виконанні аналізу необхідно прикладати навантаження або виконувати закріплення для частини поверхні деталі (рисунок 9.1). В цьому випадку, перед створенням проекту необхідно **розділити** (*Split*) потрібну поверхню на частини засобами системи "COSMOS/DesignSTAR".

Зауваження. Поділ поверхонь можна виконувати в CAD-програмі, перед імпортом моделі в "COSMOS/DesignSTAR".

Для поділу поверхні необхідно створити на ній ескіз (найчастіше – він містить просто відрізок), а потім виконати поділ.

1. Відкрити існуючу модель (див. п.п. 2.1 - 1) – **bracket.x_t**.

2. **Розділити** поверхню (*Split*).

2.1. У просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 116*) – рисунок 9.1а.

2.2. Створити новий **ескіз** (*Sketch*):

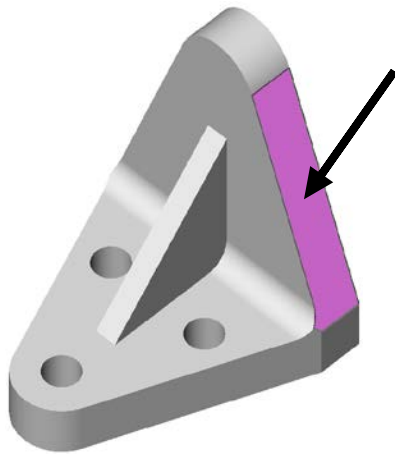
- натиснути правою кнопкою на папці **Sketch** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Define...** або вибрати **Define, Study** в текстовому меню або натиснути кнопку [**Sketch**] на інструментальній панелі **Sketch**;
- накреслити відрізок як показано на малюнку 9.1б, використовуючи кнопку [**Line**] на панелі **Sketch Tools**;
- завершити побудову ескізу, натиснувши кнопку [**Save and exit**] на панелі **Sketch Tools**, при цьому в папці **Sketch** в дереві побудови з'явиться новий ескіз **Sketch1**;

2.3. Натиснути правою кнопкою миші на **Part1** в папці **Geometry** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Edit/Define Geometry**. Відкриється діалогове вікно **Imprint on Solid/Sheet Geometry** (рисунок 9.1в).

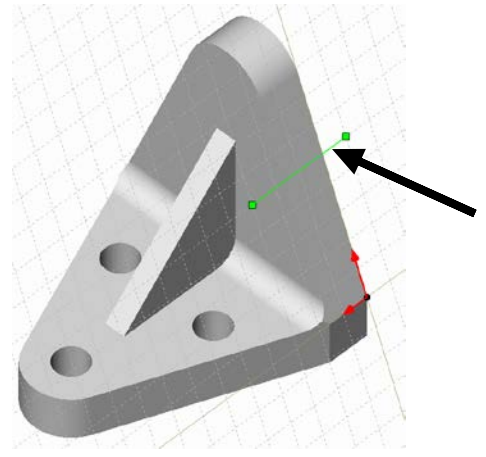
- в блоці *Activate each sketch and select faces for imprinting:*
- навпроти назви ескізу **Sketch2** переключити налаштування з **Ignore** на **Imprint**;
- у просторі моделі вказати необхідну **грань** (*Face 116*) – рисунок 9.1а;
(при цьому в активному вікні (**Imprint on Solid/Sheet Geometry**) в блоці *Selected faces* з'явиться відповідний запис (*Face 116 on Part1*));

2.4. Натиснути кнопку [**OK**].

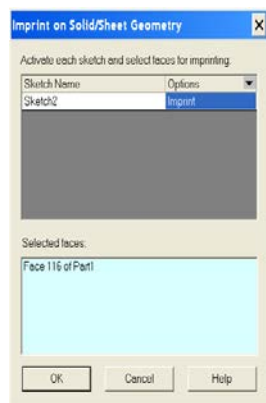
(Поверхня (*Face 116*) розділена на дві поверхні (*Face 116 I Face 1322*) , в чому можна переконатися, вибравши будь-яку з них у вікні відображення моделі (рисунок 9.1 б з));



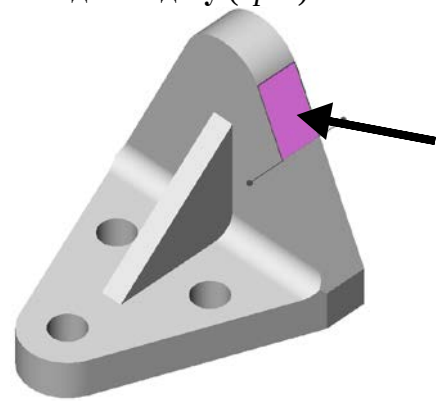
а) **грань (Face)**, яку потрібно **розділити (Split)**



б) **ескіз (Sketch)**, який використовується для **поділу (Split)**



з) діалогове вікно налаштувань **поділу (Split)**



г) **грань (Face)**, отримана після **поділу (Split)**

Рисунок 9.1 – До **поділу (Split)** **поверхні (Face)**.

3. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (див. п.п. 2.1 - 2) – **Study_7**.
4. Задати **матеріал (Material)** моделі (див. п.п. 2.1 - 3) – **Alloy Steel**.
5. Задати **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*) (див. п.п. 2.1 - 4).
6. Задати **навантаження (Loads)** (див. п.п. 2.1 - 5), **Uniform Pressure = 1,5 МПа** прикладаємо по нормалі до поверхні *Face 116* (рисунок 9.1г).
7. Створити **кінцево-елементну сітку (Mesh)** – натиснути правою кнопкою миші на папці **Mesh** в дереві рішень, вибрати в меню пункт **Create** і у вікні **Mesh** натиснути кнопку **[Ok]**.
8. Виконати **розрахунок (Run)** – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_7** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
9. **Відобразити** результати розрахунків (*Plot*) (див. п.п. 2.1 - 8).
10. **Перевірити міцність** моделі (*Design Check*) (див. п.п. 2.1 - 9).

Індивідуальні завдання..

Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9,10] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

10. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9

РОЗРАХУНОК ДЕТАЛЕЙ, ЩО МАЮТЬ ПЛОЩИНИ СИМЕТРІЇ

Вивчити:

- ✓ послідовність виконання аналізу **напружено-деформованого стану** (*Stress Strain State*) моделі, яка має площі симетрії.

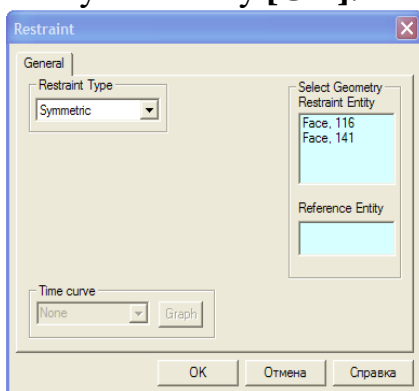
На практиці часто зустрічаються деталі, які мають одну або кілька площин симетрії (вали, муфти, кронштейни і т.п.). Такі деталі, як правило, також симетрично закріплені і навантажені. В цьому випадку, напружено-деформований стан також буде симетричним. Тому, для скорочення обсягу обчислень розраховують тільки частина моделі. Так як в "COSMOS/DesignSTAR" відсутні інструменти по зміні "геометрії" моделі, то відсікання симетричної частини моделі необхідно виконати в CAD-системі, а потім до поверхонь, утворених площиною перетину застосувати обмеження **симетрії** (*Symmetric*).

1. Відкрити існуючу модель (див. п.п. 2.1 - 1) – **half_bracket.x_t**.
2. Створити **проект** для аналізу (*Study*) (див. п.п. 2.1 - 2) – **Study_8**.
3. Задати **матеріал** (*Material*) моделі (див. п.п. 2.1 - 3) – **Alloy Steel**.
4. Задати **обмеження зсувів** моделі (*Restraint*) (див. п.п. 2.1 - 4), крім того, додатково задати обмеження симетрії.

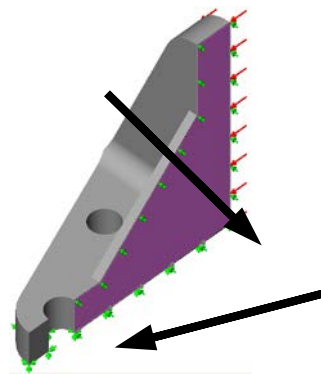
4.1. Натиснути кнопку **Restraint** на панелі **навантажень/закріплень** або натиснути правою кнопкою на папці **Loads/BC** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Restraint...** відкриється діалогове вікно **Restraint** (рисунок 10.1a).

- в блоці *Restraint Type*:
- вибрати з випадаючого списку **Symmetric** (*симетрія*);
- у просторі моделі вказати необхідні **грані** (*Face 116, Face 141*) – рисунок 10.1б.

4.2. Натиснути кнопку **[OK]**.



а) діалогове вікно налаштувань обмеження (*Restraint*) типу симетрія (*Symmetric*)

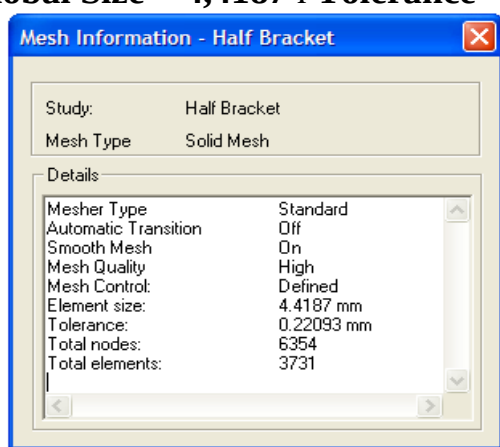


б) **грані** (*Face*), на які накладені обмеження (*Restraint*) типу **симетрія** (*Symmetric*)

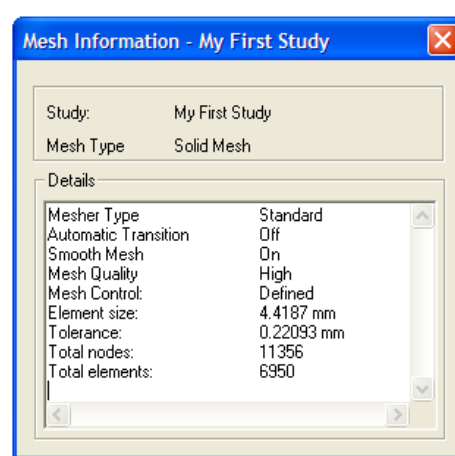
Рисунок 10.1 – Діалогове вікно завдання обмежень зсувів з типом **Symmetric** і модель.

5. Задати **навантаження** (*Loads*) (див. п.п. 2.1 - 5).
6. Створити **кінцево-елементну сітку** (*Mesh*) (див. п.п. 2.1 - 6), крім того:

- 6.1. При створенні **кінцево-елементної сітки (Mesh)** введемо параметри, аналогічні для повної моделі **Global Size = 4,4187** і **Tolerance = 0,22093** (рисунок 2.6а).
- 6.2. Для перегляду інформації про параметри отриманої звичайно-елементної сітки необхідно натиснути правою кнопкою на папці **Mesh** в дереві побудови і вибрати в меню пункт **Detail...**, у вікні (рисунок 10.2 а). можна переглянути інформацію про параметри створеної **кінцево-елементної сітки (Mesh)** **Total Nodes = 6354** і **Total Elements = 3731** при заданих умовах: **Global Size = 4,4187** і **Tolerance = 0,22093**.
- 6.3. На рисунку (рисунок 10.2 б) для порівняння наведена інформація про параметри створеної **кінцево-елементної сітки (Mesh)** для повної моделі **Total Nodes = 11356** і **Total Elements = 6950** при аналогічних заданих умовах: **Global Size = 4,4187** і **Tolerance = 0,22093**.



а) параметри **кінцево-елементної сітки (Mesh)** для половини моделі.



б) параметри **кінцево-елементної сітки (Mesh)** для повної моделі.

Рисунок 10.2 – Інформаційні вікна з параметрами **кінцево-елементної сітки (Mesh)** для половини моделі і для повної моделі.

7. Виконати **розрахунок (Run)** – натиснути правою кнопкою миші на назві проекту **Study_8** в дереві рішень і вибрати в меню пункт **Run**.
8. **Відобразити** результати розрахунків (**Plot**) (див. п.п. 2.1 - 8).
9. **Перевірити міцність** моделі (**Design Check**) (див. п.п. 2.1 - 9).

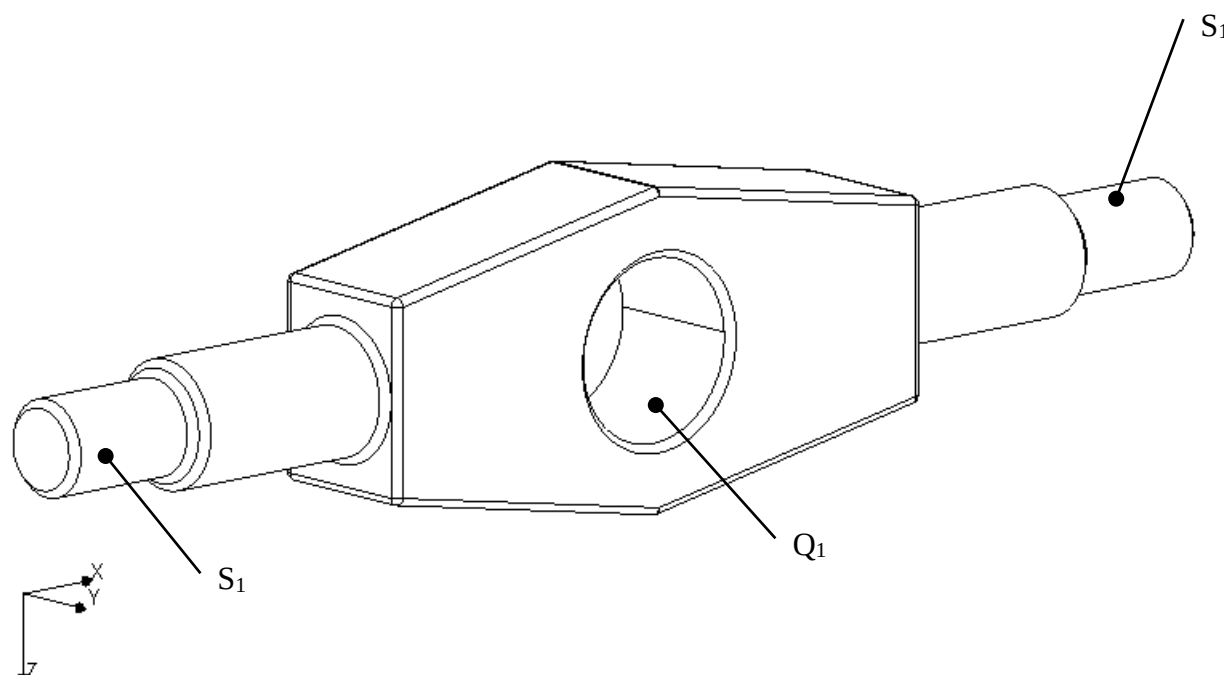
Індивідуальні завдання.

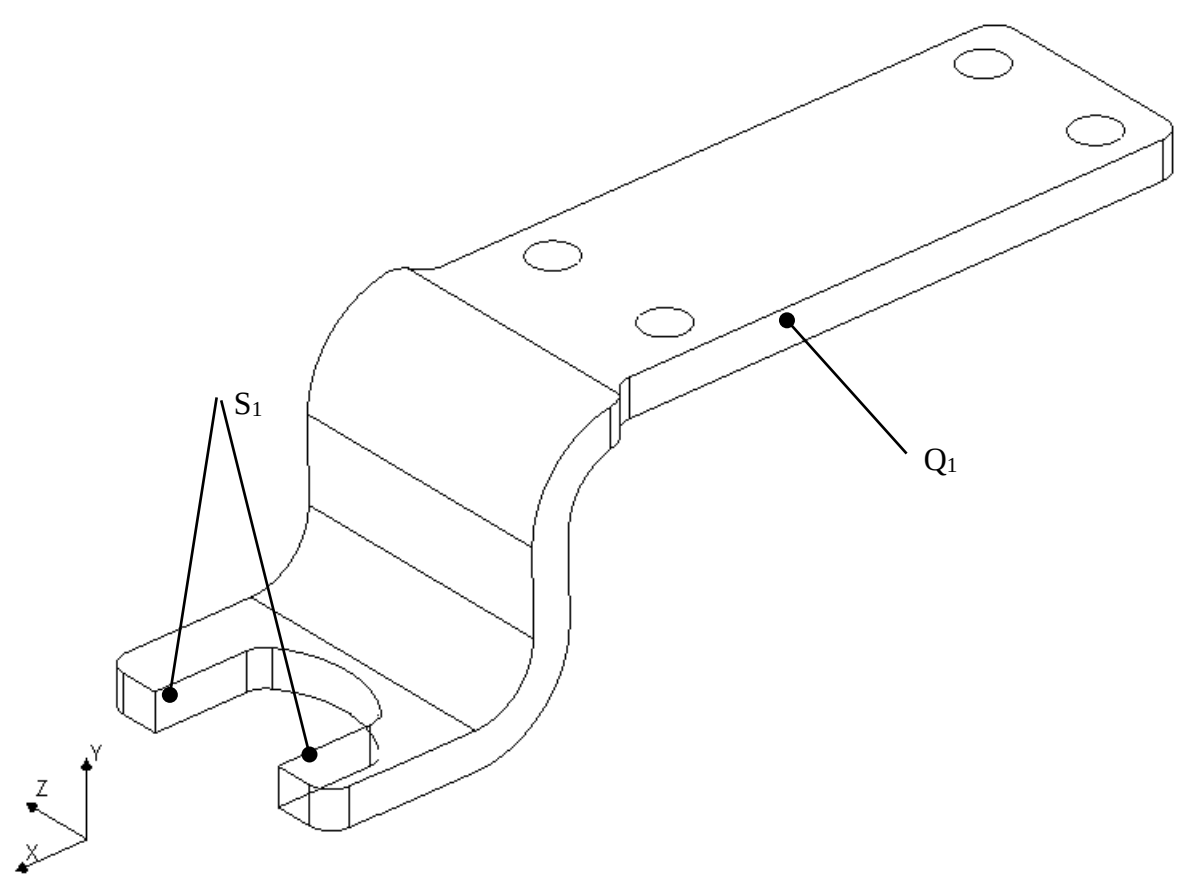
Після вивчення теоретичних відомостей під керівництвом викладача виконати індивідуальні завдання (див.додаток А).

Література

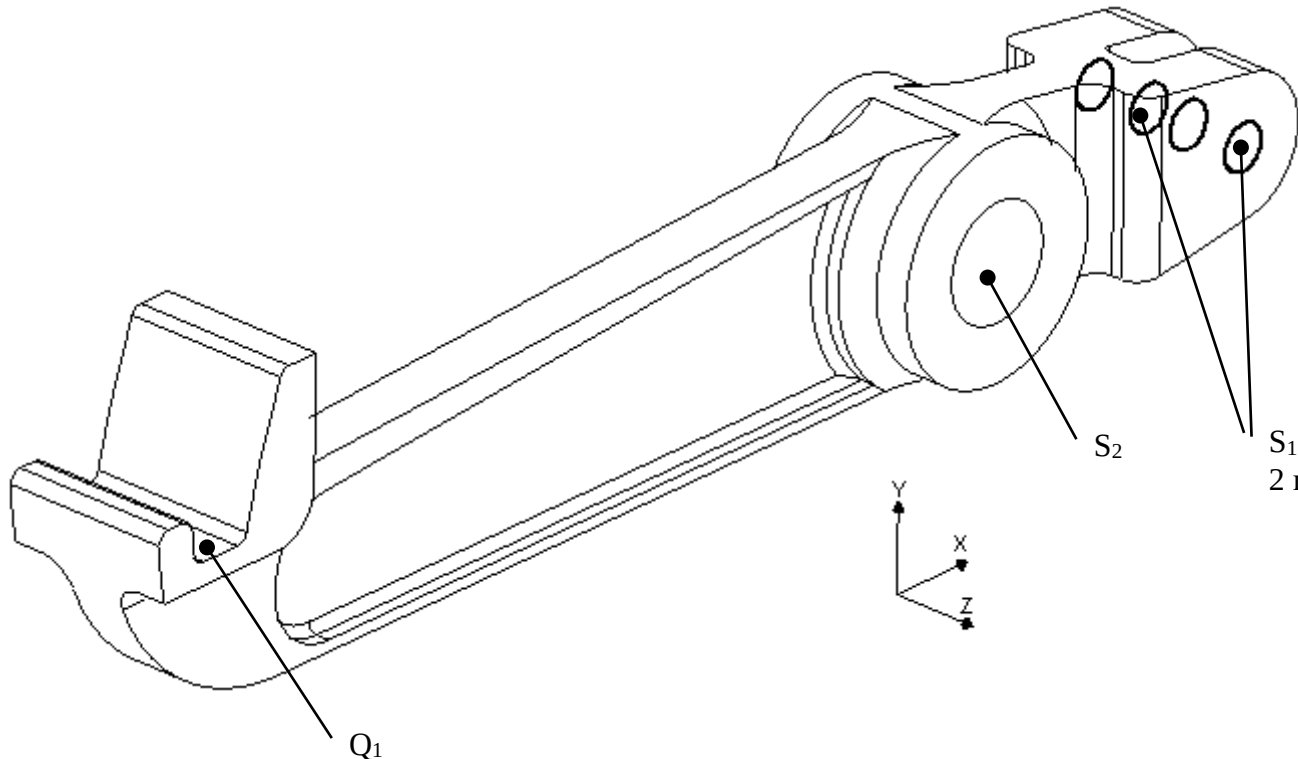
При виконанні практичних робіт можна користуватися наступними джерелами: [9-12] та довідниковою системою програмного комплексу "COSMOS / DesignStar 4.5".

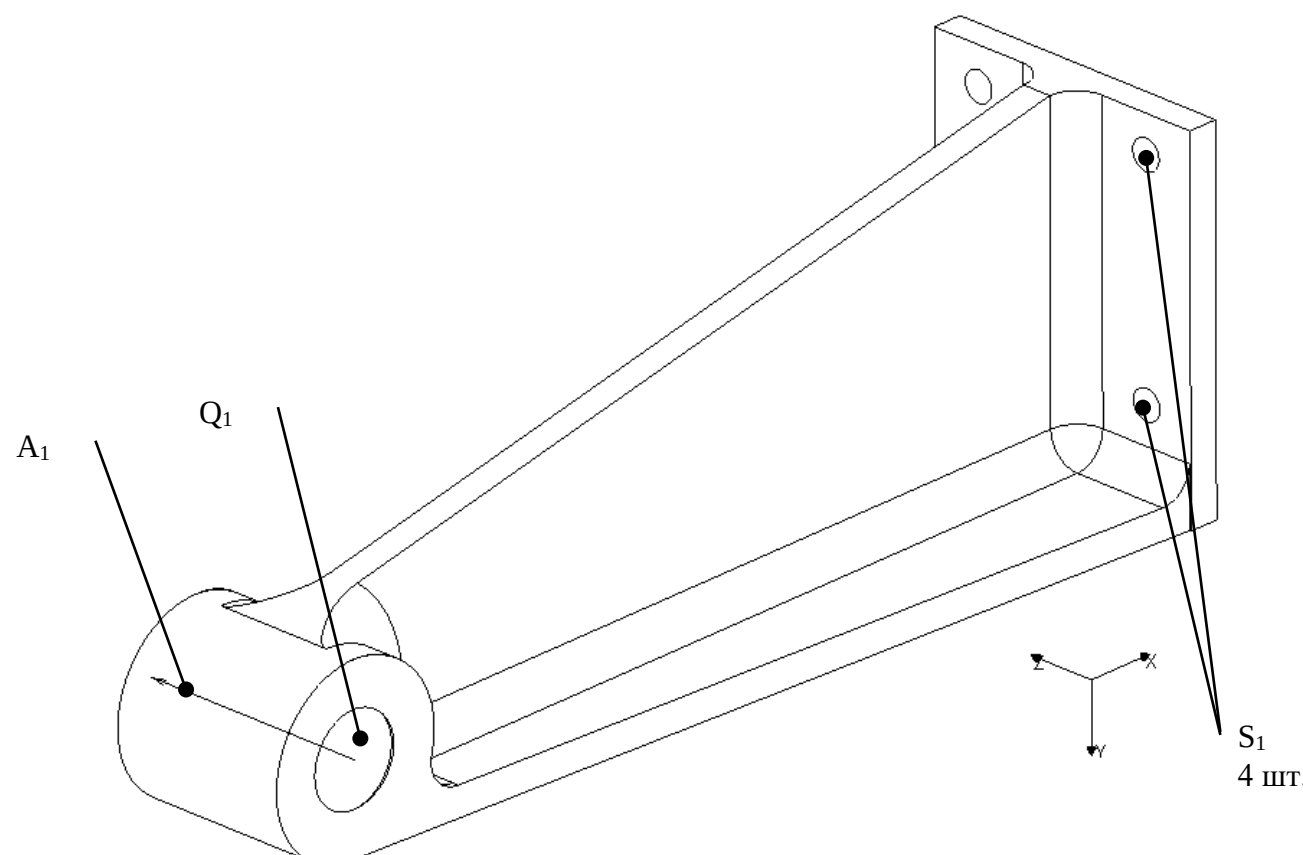
Додаток А – Варіанти завдань

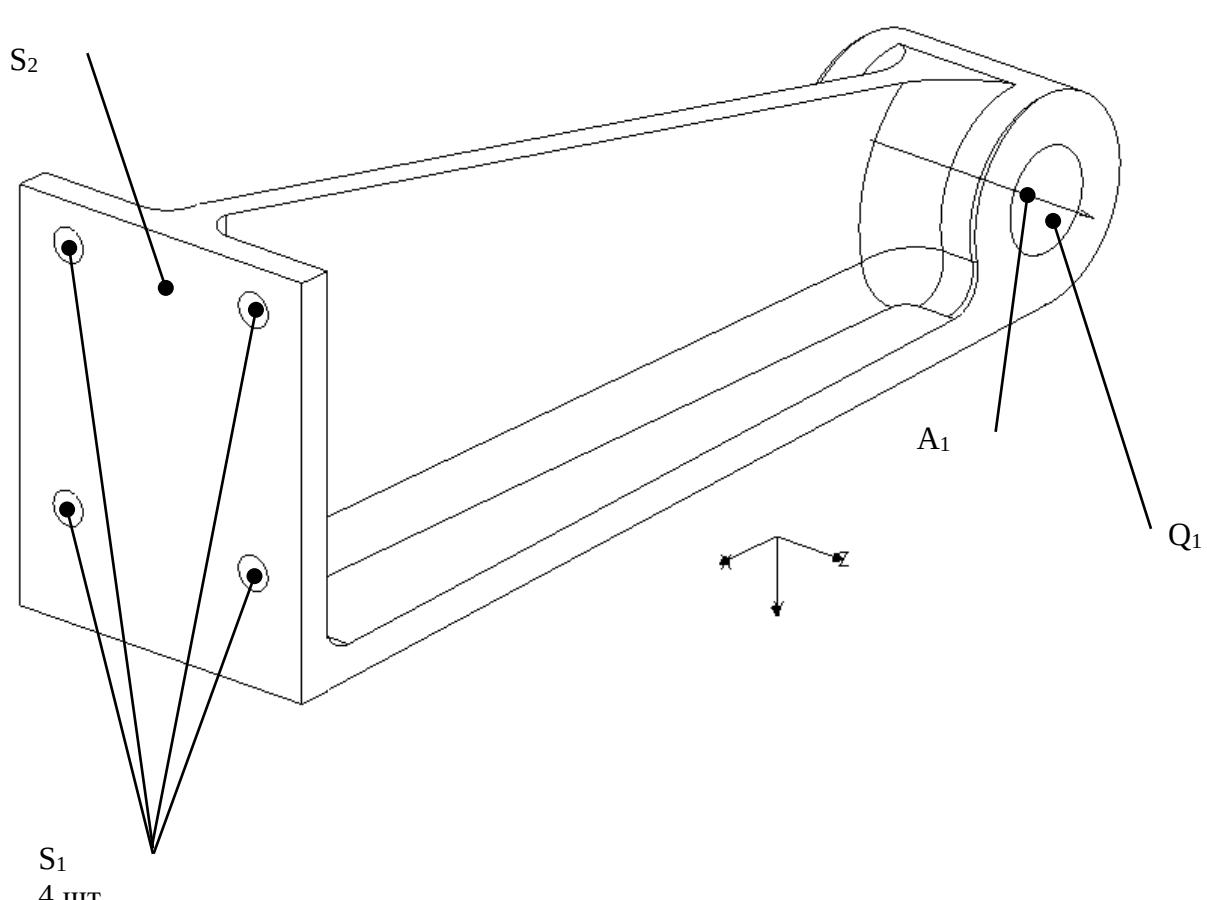
Дисципліна:		Завдання №	1		
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"					
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.					
Необхідно:					
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>ізоліній</i> , переміщення – <i>векторів</i> .					
2. Масштаб відображення: напружень – 1:1, переміщень – 1:5, відносних деформацій – 1:300.					
3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень.					
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, нормальні, головні</i> .					
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3.					
6. Створити список <i>напружень</i> в МПа в <i>елементах</i> з 100 по 250.					
Вихідні дані:		Тип розрахунків	– <i>Static</i> ;	Файл моделі	– <i>Z-001.x-t</i>
		Тип KE-моделі	– <i>Solid</i> ;	Матеріал	– <i>Cast Carbon Steel</i> ;
		Вирішувач	– <i>FFE</i> .		
Навантаження:		Закріплення:			
Q_1 – сила (9 кН), у напрямку Z;		S_1 – зафіксувати;			
					

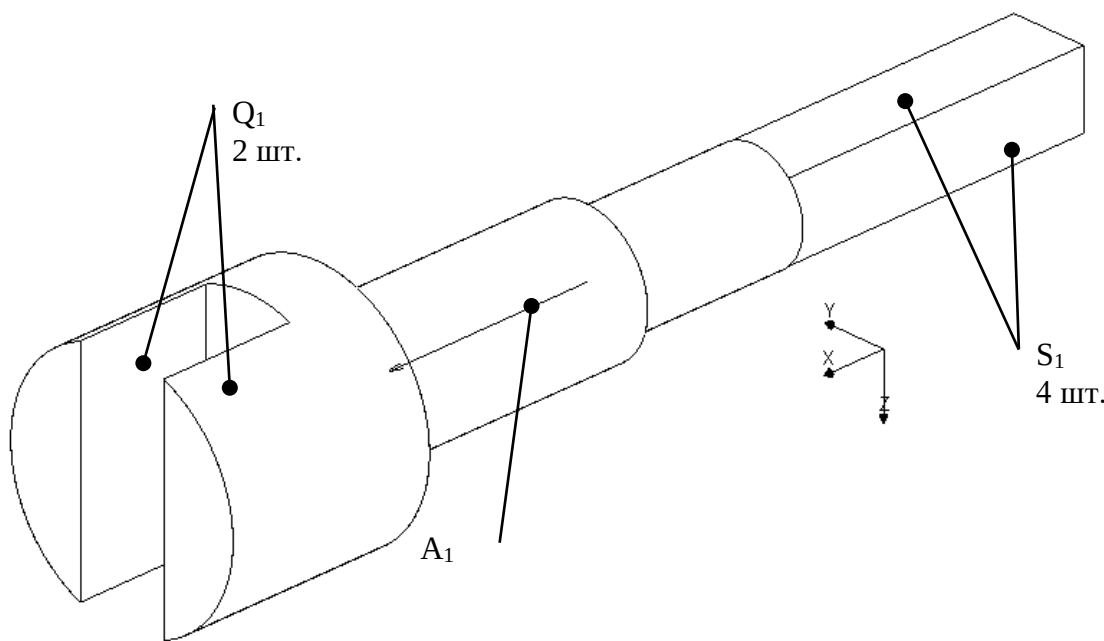
Дисципліна:		Завдання №	2
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> . 2. Масштаб відображення: напружень – <i>1:1</i> , переміщень – <i>1:3</i> , відносних деформацій – <i>1:6</i> . 3. Відобразити <i>max</i> і <i>min</i> значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> . 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 2. 6. Створити список <i>напружень в МПа в елементах з 150 по 250</i> .			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-002.x-t</i>
Тип KE-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Plain Carbon Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>Direct Sparse</i> .	
Навантаження: Q_1 – <i>сила</i> (300 Н);		Закріплення: S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	
			

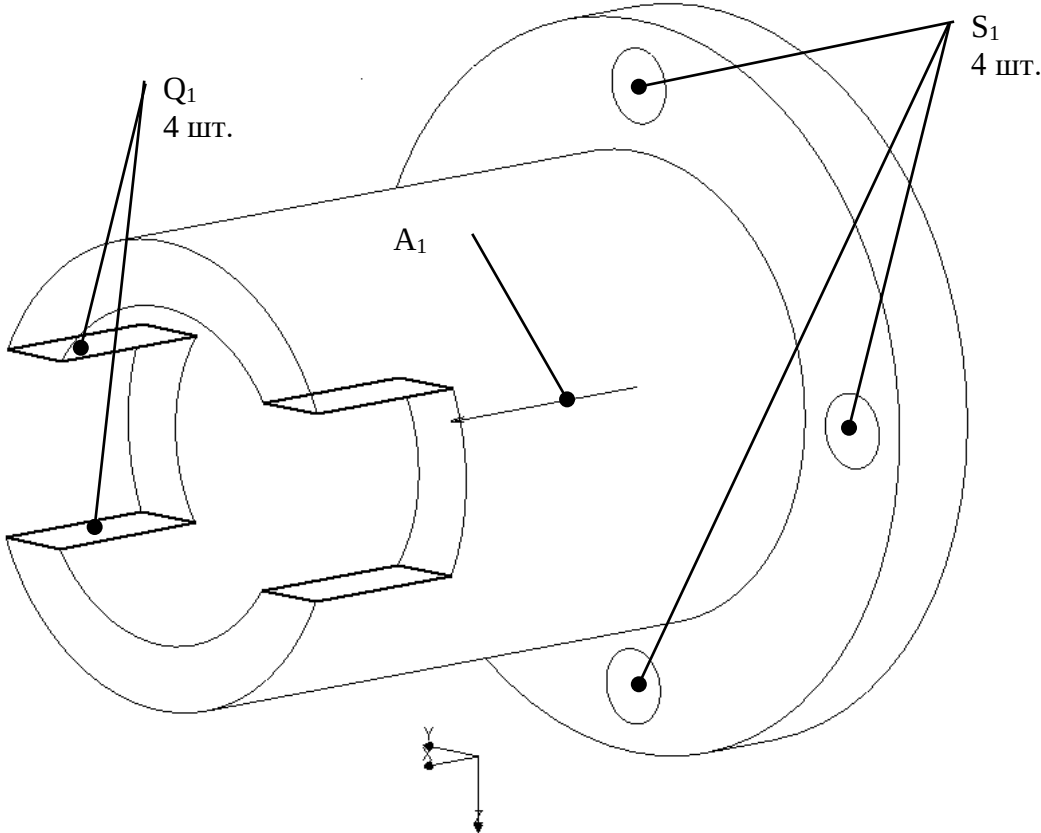
Дисципліна:		Завдання №	3
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати міцнісний розрахунок наведеної деталі методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> . 2. Масштаб відображення: напружень – 1:2, переміщень – 1:4, відносних деформацій – 1:5. 3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> . 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 2. 6. Створити список <i>напружень в МПа в елементах з 350 по 550</i> .			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-003.x-t</i>
Тип КЕ-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>Direct Sparse</i> .	
Навантаження: Q_1 – <i>крутний момент (12 кН·м) відносно осі A_1</i> ;		Закріплення: S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	

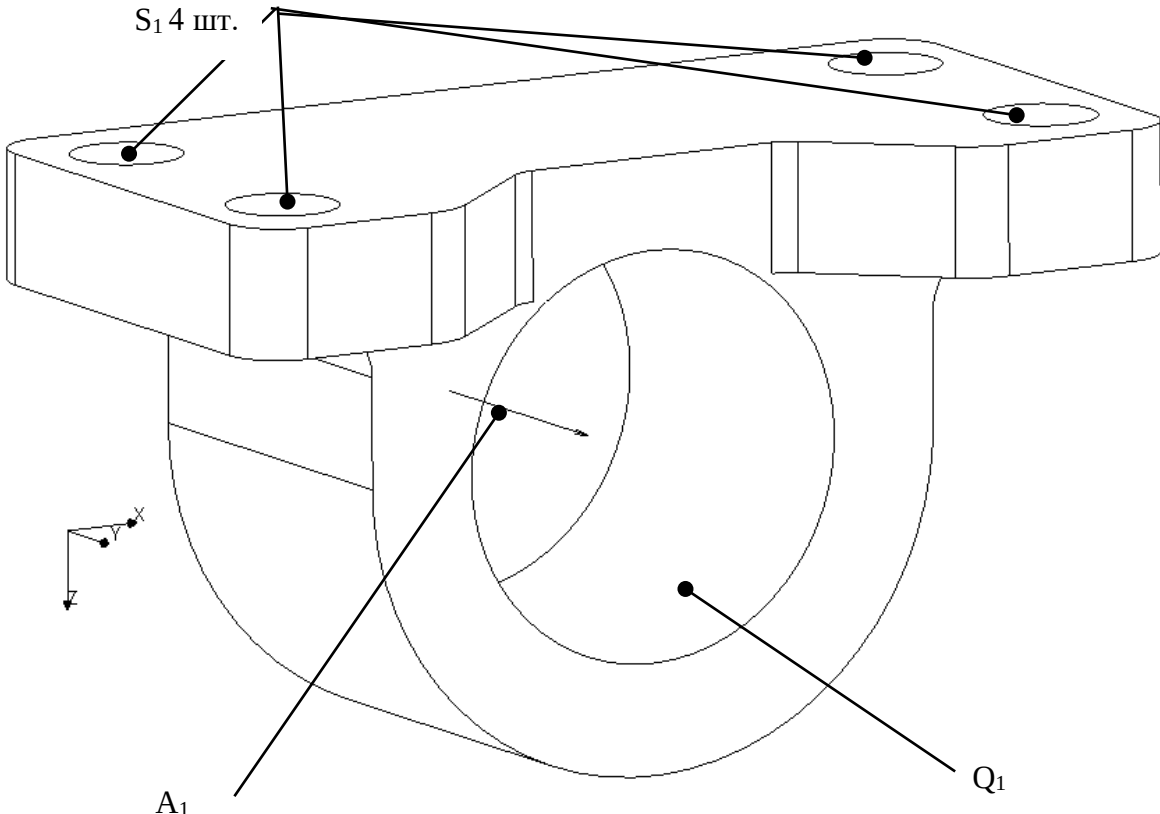
Дисципліна:		Завдання №	4
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати міцнісний розрахунок наведеної деталі методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> . 2. Масштаб відображення: напружень – 1:1, переміщень – 1:2, відносних деформацій – 1:5. 3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> . 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3. 6. Створити список <i>напружень в МПа в елементах з 12 по 50</i> .			
Исходные данные: Тип розрахунків – <i>Static</i> ; Тип KE-моделі – <i>Solid</i> ; Вирішувач – <i>FFE</i> . Файл моделі – <i>Z-004.x-t</i> Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;			
Навантаження: Q_1 – сила (30 кН);		Закріплення: S_1 – <i>зафіксувати</i> ; S_2 – <i>без переміщення</i> ;	
			

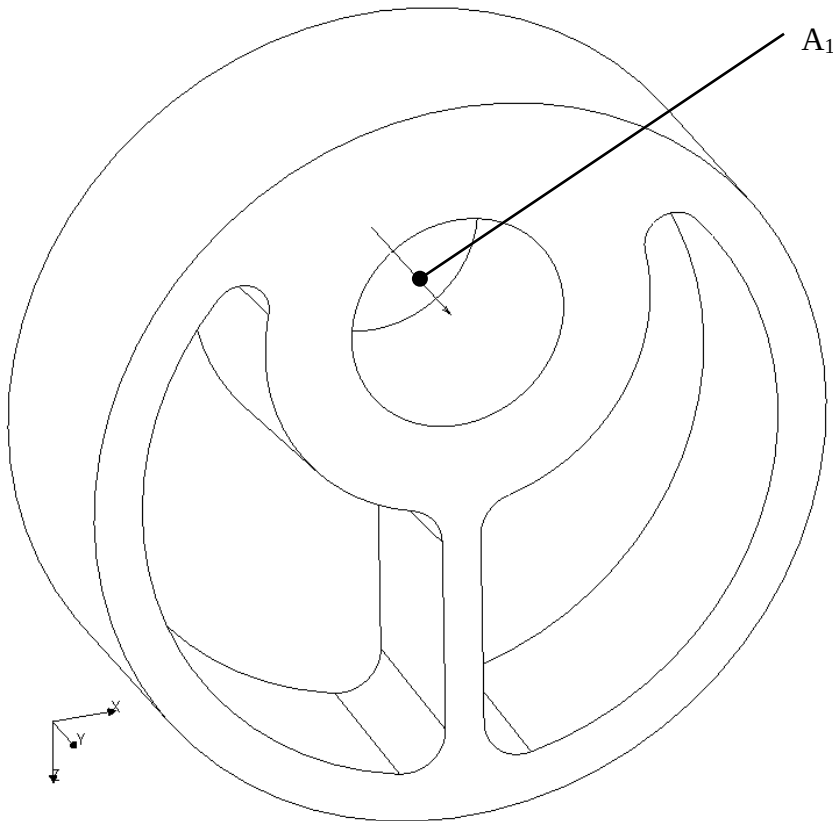
Дисципліна:		Завдання №	5
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необходимо:			
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> .			
2. Масштаб відображення: напружень – <i>1:10</i> , переміщень – <i>1:15</i> , відносних деформацій – <i>1:7</i> .			
3. Відобразити <i>тах і міні</i> значення напружень, відносних деформацій і переміщень.			
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> .			
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3.			
6. Створити список <i>напружень в МПа в елементах з 300 по 500</i> .			
Вихідні дані: Тип розрахунків – <i>Static</i> ; Файл моделі – <i>Z-005.x-t</i>			
Тип KE-моделі – <i>Solid</i> ; Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;			
Вирішувач – <i>FFEPlus</i> .			
Навантаження:		Закріплення:	
Q_1 – <i>крутний момент (-500 Н·м) відносно осі A_1</i> ;		S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	
			

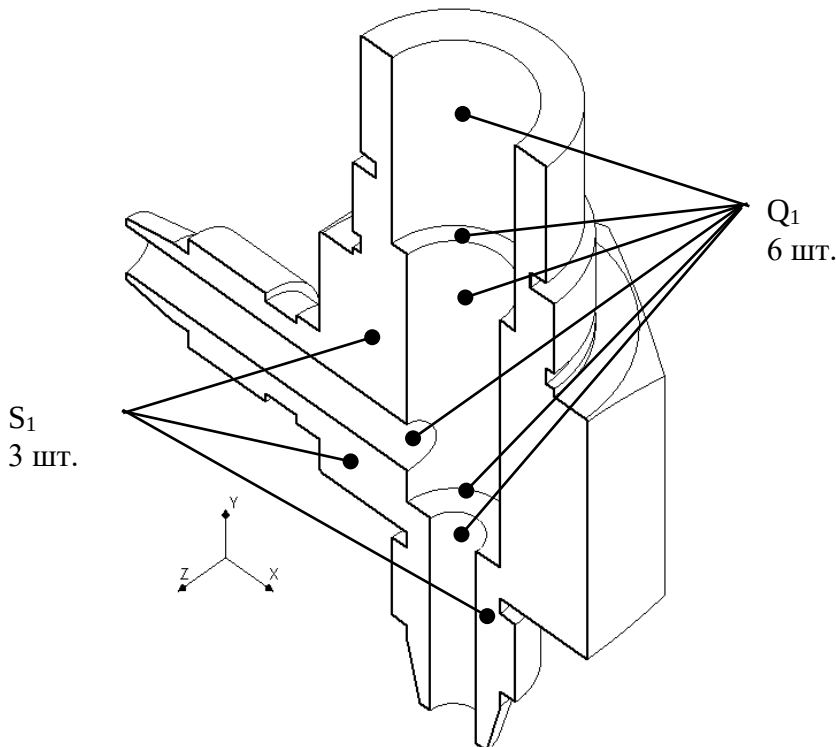
Дисципліна:		Завдання №	6
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати міцнісний розрахунок наведеної деталі методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно:			
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> .			
2. Масштаб відображення: напружень – <i>1:1</i> , переміщень – <i>1:10</i> , відносних деформацій – <i>1:7</i> .			
3. Відобразити <i>max</i> і <i>min</i> значення напружень, відносних деформацій і переміщень.			
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> .			
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3.			
6. Створити список <i>напружень</i> в <i>МПа</i> в <i>елементах</i> з 300 по 500.			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-005.x-t</i>
Тип KE-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>FFEPlus</i> .	
Навантаження:		Закріплення:	
Q_1 – <i>крутний момент</i> (-500 Н·м) відносно осі A_1 ;		S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	
		S_2 – <i>ковзаюча поверхня</i> ;	
			
S_1 4 шт.			

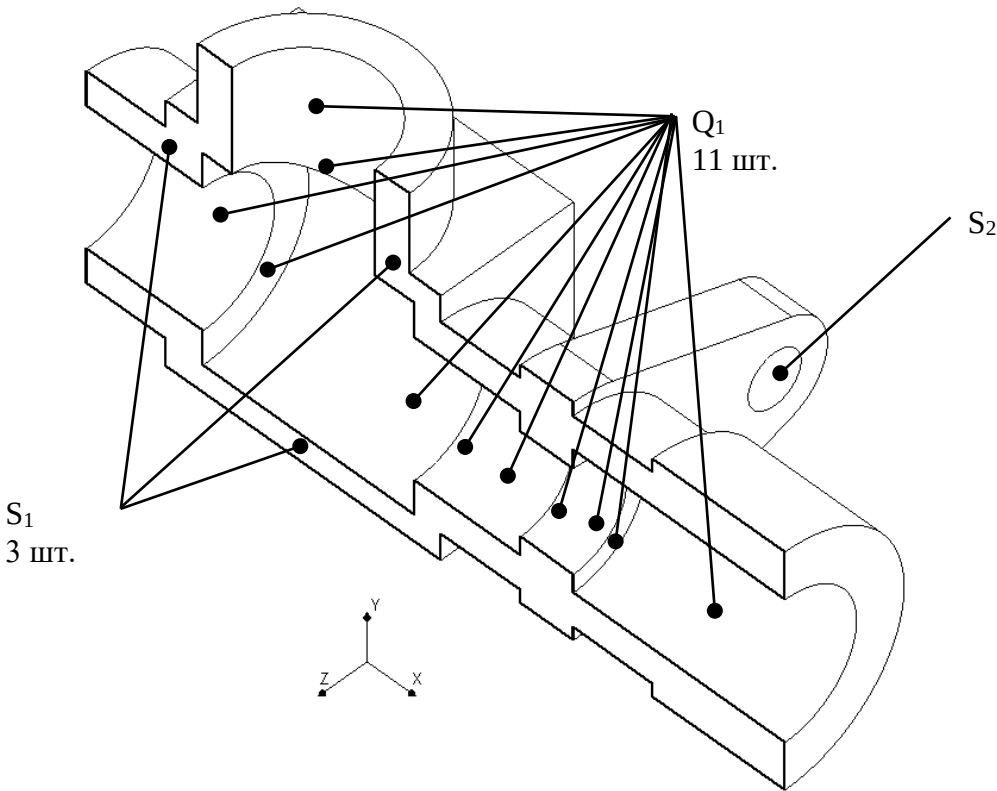
Дисципліна:		Завдання №	7
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> . 2. Масштаб відображення: напружень – <i>1:1</i> , переміщень – <i>1:5</i> , відносних деформацій – <i>1:3</i> . 3. Відобразити <i>max</i> і <i>min</i> значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> . 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 1. 6. Створити список <i>напружень</i> в <i>МПа</i> в <i>елементах</i> з 20 по 200.			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-006.x-t</i>
Тип KE-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>FFE</i> .	
Навантаження: Q_1 – <i>крутний момент</i> (5 Н·м) відносно осі A_1 ;		Закріплення: S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	
			

Дисципліна:		Завдання №	8
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> . 2. Масштаб відображення: напружень – <i>1:1</i> , переміщень – <i>1:5</i> , відносних деформацій – <i>1:4</i> . 3. Відобразити <i>max</i> і <i>min</i> значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> . 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 1. 6. Створити список <i>напружень</i> в <i>МПа</i> в <i>елементах</i> з <i>200</i> по <i>400</i> .			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-007.x-t</i>
Тип КЕ-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>AISI 1020</i> ;
Вирішувач		– <i>Direct Sparse</i> .	
Навантаження: Q_1 – <i>крутний момент</i> (100 Н·м) відносно осі A_1 ;		Закріплення: S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	
			

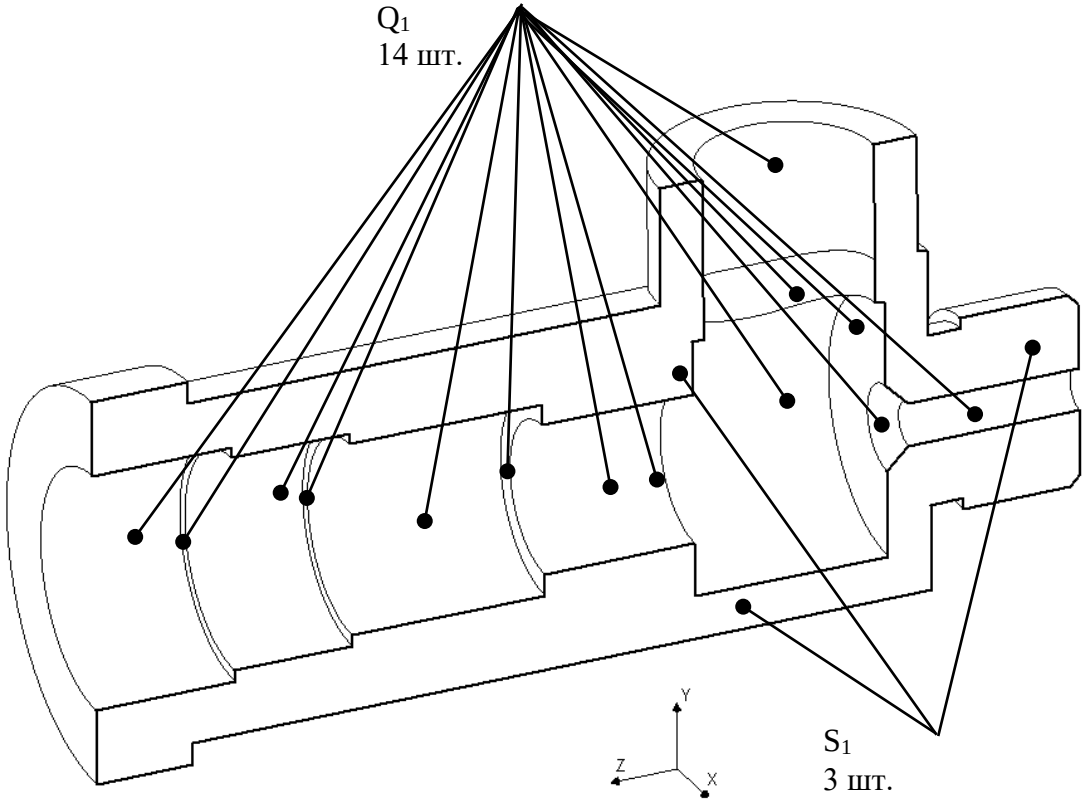
Дисципліна:		Завдання №	9
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно:			
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> .			
2. Масштаб відображення: напружень – 1:5, переміщень – 1:5, відносних деформацій – 1:4.			
3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень.			
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> .			
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 5.			
6. Створити список <i>напружень</i> в МПа в <i>елементах</i> з 120 по 410.			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-009.x-t</i>
Тип КЕ-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Cast Stainless Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>FFE</i> .	
Навантаження:		Закріплення:	
Q_1 – <i>крутний момент</i> (10 кН·м) відносно осі A_1 ;		S_1 – <i>зафіксувати</i> ;	
			

Дисципліна:		Завдання №	10
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно:			
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> .			
2. Масштаб відображення: напружень – 1:8, переміщень – 1:5, відносних деформацій – 1:6.			
3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень.			
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> .			
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3.			
6. Створити список <i>напружень</i> в МПа в <i>елементах</i> з 250 по 440.			
Исходные данные: Тип розрахунків – <i>Static</i> ; Файл моделі – <i>Z-010.x-t</i>			
Тип КЕ-моделі – <i>Solid</i> ; Матеріал – <i>Wrought Stainless Steel</i> ;			
Вирішувач – <i>FFEPlus</i> .			
Навантаження:		Закріплення:	
<i>Кутова швидкість (3000 об/хв) відносно осі A₁</i> ;		використовувати налаштування: <i>Use Inertial Relief</i> ;	
			

Дисципліна:		Завдання №	11		
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"					
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.					
Необхідно:					
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> .					
2. Масштаб відображення: напружень – 1:1, переміщень – 1:2, відносних деформацій – 1:7.					
3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень.					
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> .					
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 2.					
6. Створити список <i>напружень в МПа в елементах з 310 по 400</i> .					
Исходные данные:		Тип розрахунків	– <i>Static</i> ;	Файл моделі	– <i>Z-018.x-t</i>
		Тип KE-моделі	– <i>Solid</i> ;	Матеріал	– <i>Alloy Steel</i> ;
		Вирішувач	– <i>FFEPlus</i> .		
Навантаження:		Закріплення:			
Q_1 – <i>рівномірний тиск</i> (20 МПа);		S_1 – <i>симетрія</i> ;			
		використовувати налаштування:			
		<i>Use Inertial Relief</i> ;			
					

Дисципліна:		Завдання №	12
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> . 2. Масштаб відображення: напружень – <i>1:1</i> , переміщень – <i>1:2</i> , відносних деформацій – <i>1:3</i> . 3. Відобразити <i>max</i> і <i>min</i> значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> . 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3. 6. Створити список <i>напружень</i> в МПа в елементах з 10 по 60.			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-019.x-t</i>
Тип КЕ-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>FFE</i> .	
Навантаження: Q_1 – <i>рівномірний тиск</i> (10 МПа);		Закріплення: S_1 – <i>симетрія</i> ; S_2 – <i>зафіксувати</i> ; Використовувати налаштування: <i>Use Inertial Relief</i> ;	
			

Дисципліна:		Завдання №	13
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно: 1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i>, відносні деформації – <i>векторів</i>, переміщення – <i>ізоліній</i>. 2. Масштаб відображення: напружень – 1:2, переміщень – 1:3, відносних деформацій – 1:5. 3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень. 4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i>. 5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3. 6. Створити список <i>напружень</i> в МПа в елементах з 20 по 90.			
Вихідні дані: Тип розрахунків – <i>Static</i> ; Тип KE-моделі – <i>Solid</i> ; Вирішувач – <i>FFEPlus</i> .		Файл моделі – <i>Z-020.x-t</i> Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;	
Навантаження: Q_1 – <i>рівномірний тиск</i> (15 МПа);		Закріплення: S_1 – <i>симетрія</i> ; Використовувати налаштування: <i>Use Inertial Relief</i> ;	

Дисципліна:		Завдання №	14
"САПР технологічних виробництв. Частина 3"			
Умови завдання: Виконати <i>міцнісний розрахунок</i> наведеної <i>деталі</i> методом кінцевих елементів в програмі COSMOS DesignStar.			
Необхідно:			
1. Результати відобразити у вигляді: напруження – <i>колірних полів</i> , відносні деформації – <i>векторів</i> , переміщення – <i>ізоліній</i> .			
2. Масштаб відображення: напружень – 1:0,1, переміщень – 1:0,12, відносних деформацій – 1:0,14.			
3. Відобразити max і min значення напружень, відносних деформацій і переміщень.			
4. Відобразити наступні види напружень: <i>середні, дотичні, головні</i> .			
5. Виконати <i>перевірку міцності</i> за критерієм <i>Мізеса</i> за коефіцієнтом запасу = 3.			
6. Створити список <i>напружень в МПа</i> в <i>елементах з 15 по 120</i> .			
Вихідні дані: Тип розрахунків		– <i>Static</i> ;	Файл моделі – <i>Z-022.x-t</i>
Тип KE-моделі		– <i>Solid</i> ;	Матеріал – <i>Alloy Steel</i> ;
Вирішувач		– <i>FFE</i> .	
Навантаження:		Закріплення:	
Q_1 – <i>рівномірний тиск</i> (25 МПа);		S_1 – <i>симетрія</i> ;	
		Використовувати налаштування:	
		<i>Use Inertial Relief</i> ;	
			

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчаренко В.А. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: навчальний посібник / В.А. Овчаренко, С.В. Подлесний, С.М. Зінченко – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 380 с.
2. Дубенець В. Г. Основи методу скінченних елементів: навчальний посібник / В.Г. Дубенець, В.В. Хільчевський, О.В. Савченко. - Чернігів : ЧДТУ, 2007. – 288 с.
3. Лагерев И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов: монография / И.А. Лагерев. –Брянск: Издательство БГТУ, 2013. –116 с.
4. Радин В.П. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов / В.П. Радин, Ю.Н. Самогин, В.П. Чирков Издательство: Физматлит, 2013 г., 316 с.
5. Голованов А.И. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций / А.И. Голованов, О. Н. Тюленева, А.Ф. Шигабутдинов. - М.: Физматлит, 2006, 214 с.
6. Овчаренко В.А. Расчет задач машиностроения методом конечных элементов: Учеб. пособие. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 128 с.
7. Метод конечных элементов в механике твердых тел / под общ. ред. А.С. Сахарова и И.И. Альтенбаха. -Киев: Вища школа. -1982. -480 с.
8. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: пер. с англ. / Л. Сегерлинд -М.: Мир. -1979. -392 с.
9. Денисов М.А. Компьютерное проектирование ANSYS: [учебное пособие] / М.А. Денисов, Екатеринбург : изд-во Урал, ун-та, 2014. – 77 с.
10. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб, пособ. В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. - Самара: Самар, гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.
11. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум современных САЕ-системах: Учеб, пособие. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-2008,- 112 с.
12. Иванов Д.В., Доль А.В. Введение в Ansys Workbench: Учеб.-метод, пособие для студентов естественно-научных дисциплин. - Саратов: Амирит. 2016. – 56 с.: ил.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "САПР технологічних виробництв. Частина 3" освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування / Топорова А.А., Трет'якова П.В., Боровльова В.М., Алексєєвої О.Є., Костіної О.Д., Кутняшенко І.В. - Покровськ, ДонНТУ, 2021 – 62 с.

Комп'ютерний набір і верстка:

Редактор:

Донецький національний технічний університет
83502, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2.

Підписано до друку __.__.2021 р. Формат 60×84 1/16
Ум. друк. арк. 1,5. Друк лазерний. Зам. №__. Накл. 25 прим.