Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

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

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗПОДІЛЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛКИ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання по спеціальності
133 Галузеве машинобудування

Харків
2019

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

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

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗПОДІЛЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛКИ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання по спеціальності
133 Галузеве машинобудування

Затверджено
рішенням Науково-методичної ради ННІ ТС ХНТУСГ
Протокол №3
від 11 грудня 2019р

Харків
2019

УДК 539.3/.4
А 64

Схвалено на засіданні
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича
Протокол № 2 від 18 листопада 2019 р.

Рецензенти:

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

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

А 64 Аналіз впливу розподіленого навантаження на напружено-деформований стан балки : метод. вказівки до виконання практичних робіт для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання по спеціальності по спеціальності 133 Галузеве машинобудування; Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: В.М.Грищенко, О.А.Свіргун, Є.І.Калінін, В.Б.Савченко,. - Харків, 2019. - 22с.

Методичні вказівки "Аналіз впливу розподіленого навантаження на напружено-деформований стан балки" розроблено з метою надання практичних навичок студентами під час виконання ними практичних завдань з широкого кола дисциплін, в яких використовується програмний комплекс Ansys Workbench. Видання включає приклад вирішення задач з необхідними практичними поясненнями. Методичні вказівки містять також контрольні питання, які можуть бути використані в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання по спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

Відповідальний за випуск: **Є.І.Калінін**, д-р. техн. наук, доцент.

ВСТУП

Швидкий розвиток обчислювальної техніки і її впровадження практично в усі сфери життя привело до того, що сьогодні грамотний фахівець в будь-якій області знань повинен добре орієнтуватися в світі комп'ютерів і володіти необхідними програмними засобами. Сучасний інженер неможливий без знання систем автоматичного проектування (CAD - Computer Aids Design), автоматичного виробництва (CAM - Computer Aids Manufacturing) і автоматичного інженерного аналізу (CAE - Computer Aids Engineering). Такі CAD/CAM системи як AutoCAD, DUCT, Pro/Engineer, Unigraphics і SolidsWorks широко використовуються для комп'ютерного моделювання виробів складної форми, з подальшим випуском креслень і генерацією керуючих програм для верстатів з ЧПУ.

Одним з найпоширеніших таких комплексів сьогодні є програма ANSYS, що використовує метод кінцевих елементів.

Особливістю програми є файлова сумісність всіх членів сімейства ANSYS для всіх використовуваних платформ. Багатоцільова спрямованість програми дозволяє використовувати одну й ту ж модель для вирішення різних пов'язаних завдань. Програма ANSYS є засобом, за допомогою якого створюється комп'ютерна модель або обробляється CAD-модель конструкції; прикладаються діючі зусилля; досліджується відгуки системи різної фізичної природи у вигляді розподілів напружень і температур, електромагнітних полів. Все це допомагає скоротити цикл розробки, що складається у виготовленні зразків - прототипів, їх випробувань і повторному виготовленні зразків, а також виключити дорогий процес доопрацювання виробів.

АНАЛІЗ РОЗПОДІЛЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАПУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛКИ

Мета роботи: Моделювання напружено-деформованого стану балки, яка навантажена розподіленим по всій довжині навантаженням з використанням типу аналізу ***Static Structural*** – аналізу статичної міцності в *AnsysWorkbench*.

Сталева горизонтально розташована балка з шарнірним обпиранням на торцях розмірами 40×40×1000 мм навантажена розподіленим вертикальним навантаженням F=5000Н/м.

Загальний вигляд моделі представлений на рис. 1.

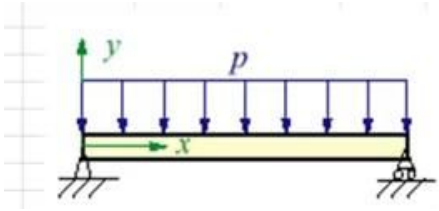

Рис. 1. Загальний вигляд моделі.

Методика виконання завдання

Увага! По ходу виконання проекту для формування звіту потрібно зберігати у файлах копії поточних рисунків .

1. Підготовка проекту.

1.1. Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів завдання 7 (наприклад, на диску *F:\LabANSYS_8*);

1.2. Запуск ***Workbench***. Створення нового проекту: вказати робочу директорію та унікальне ім’я файлам.

Пуск → Програми → AnsysWorkbench → Save as

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

1.3. Вибрати систему одиниць виміру – систему СІ.

Main menu → Units → Metric

1.4. Вибір типу аналізу.

Toolbox → Analysis system → Stati structural

В даній роботі вибираємо аналіз статичної міцності конструкції. При цьому в полі вікна схеми проектів активізується меню даного проекту, яке

включає такі позиції:

- ***Engineering Data*** – підпрограма вибору механічних властивостей матеріалу;
- ***Geometry*** – підпрограма побудови геометричної моделі;
- ***Model*** – підпрограма побудови СЕ-сітки та вибору граничних умов;
- ***Setup and Solution*** – завдання опцій для процедур розрахунку;
- ***Results*** – візуалізація отриманих результатів.

2. Задавання механічних характеристик

Project schematic → Engineering data (клік лівою кнопкою миші двічі,
або клік правою кнопкою миші по позиції Edit у вспливаючому вікні

Активізуються декілька вікон:

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

Виберемо в бібліотеці матеріал ***Structural Steel*** («Конструкційна сталь»).

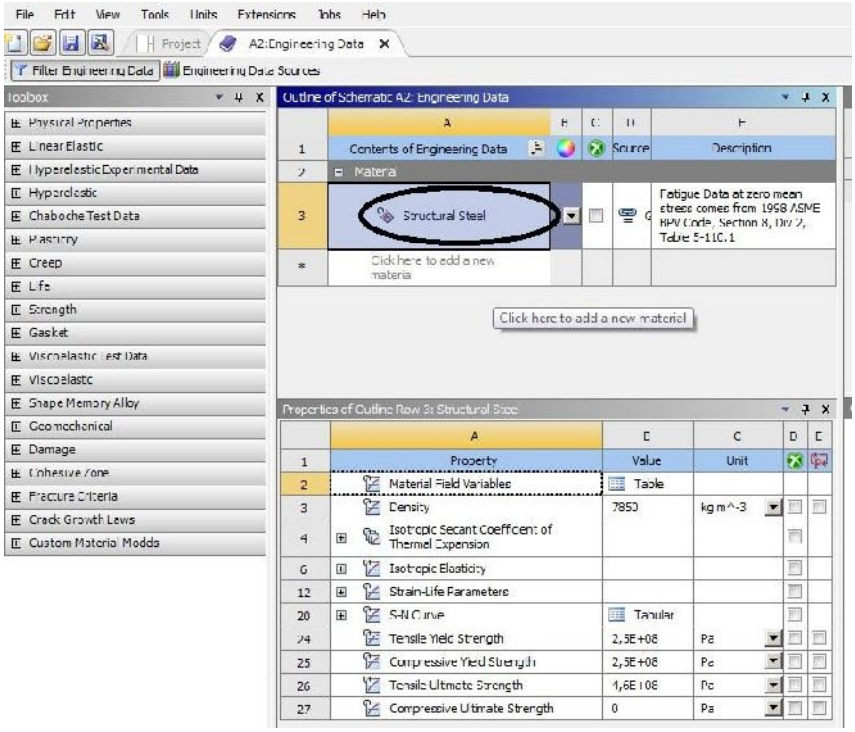

Рис. 2. Вибір матеріалу в бібліотеці.

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

Main menu → View → Reset → Workspace

Повернення до меню проекту:

Main menu → Return to Project

3. Побудова геометричної моделі.

3.1. Активізація вікна підпрограми Design Modeler, в якому відбувається побудова геометричної моделі:

Project schematic → Geometry (клік лівою кнопкою миші двічі), або клік правою
кнопкою миші по опції New geomentry у вспливаючому вікні

3.2. У вкладці вибрати розміри в мм.

Main menu → Units

Design Modeler включає:

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

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

3.3. Розглянемо побудову ескізу балки.

3.3.1. У дереві моделі ***TreeOutline*** за робочу площину виберемо ***XYPlane***.

3.3.2. Створюємо новий ескіз ***Sketch1***:

Main menu → Newsketch

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

3.3.3. Активізуємо ***Sketch1*** та задаємо для нього ***XYPlane*** як проекцію при побудові зображення:

Main menu → Treeoutline → Sketch1 (клік правою кнопкою миші) → Look at face 

3.3.4. Побудова прямокутника із розмірами, що задані в вихідних даних:

Main menu → Treeoutline → Sketching → Draw → Recnangle

3.3.5. Виставляємо виноски розмірів:

Sketching → Dimensions → General → виносимо с т рілки розмірнос т ей

Їх точні значення проставляємо у вікні ***Details View***.

3.3.6. На панелі меню вибираємо кнопку ***Extrude*** (рис. 4) для видовження побудованого ескізу перерізу балки, а у вікні ***Details View*** задаємо її точну довжину.

Лінійне видавлювання ***Extrude*** дозволяє отримати об’єм за рахунок прямолінійного зміщення обраного ескізу на деяку відстань в заданому напрямку.

Base Object – ім’я ескізу, використовуваного для побудови об’єму. ***Operation*** – вид операції видавлювання, який вказує особливості побудови об’єму. За умовчанням вибрано ***Add Material***, що означає заповнення одержуваного об’єму (суцільне тіло). Якщо у вікні побудови вже є інші тіла, то цей параметр може мати значення ***Cut Material*** – видалення матеріалу в одержувано-

му об’ємі, або ***Imprint Faces*** – отримувана поверхня «карбується» в об’ємні тіла, через які вона проходить. Значення ***Add Frozen*** дозволяє створити зафіксоване тіло.

Direction Vector – лінія, що задає напрямок видавлювання. Для завдання цього параметра необхідно вибрати у вікні моделі відрізок, ребро або координатну вісь. За замовчуванням задане ***None Normal***, що означає видавлювання по нормалі до площини ескізу.

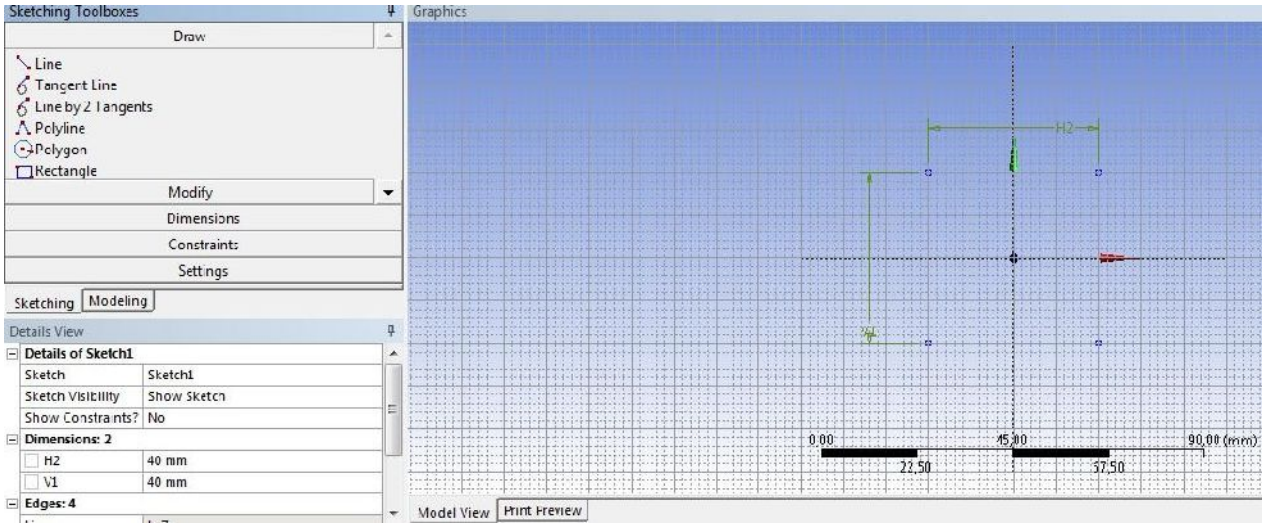

Рис. 3. Форма вікна ***Graphics*** після проведених операцій

Direction – напрямок вздовж лінії видавлювання. Даний параметр може приймати такі значення: ***Normal*** – у напрямку від початкової точки до кінцевої для лінії видавлювання, ***Reversed*** – протилежний напрямок, ***Both Symmetric*** – видавлювання в обох напрямках на однакову відстань, ***Both Asymmetric*** – видавлювання в обох напрямках на різні відстані.

Extent Type – тип видавлювання. За замовчуванням задане ***Fixed*** – видавлювання на фіксовану відстань, але також може бути ***Through All*** – видавлювання через всі поверхні, ***To Next*** – видавлювання до найближчої поверхні, ***To Face*** – видавлювання до вказаної межі тіла без зміни поверхні контакту, ***To Surface*** – видавлювання до вказаної межі тіла з відповідною зміною поверхні контакту.

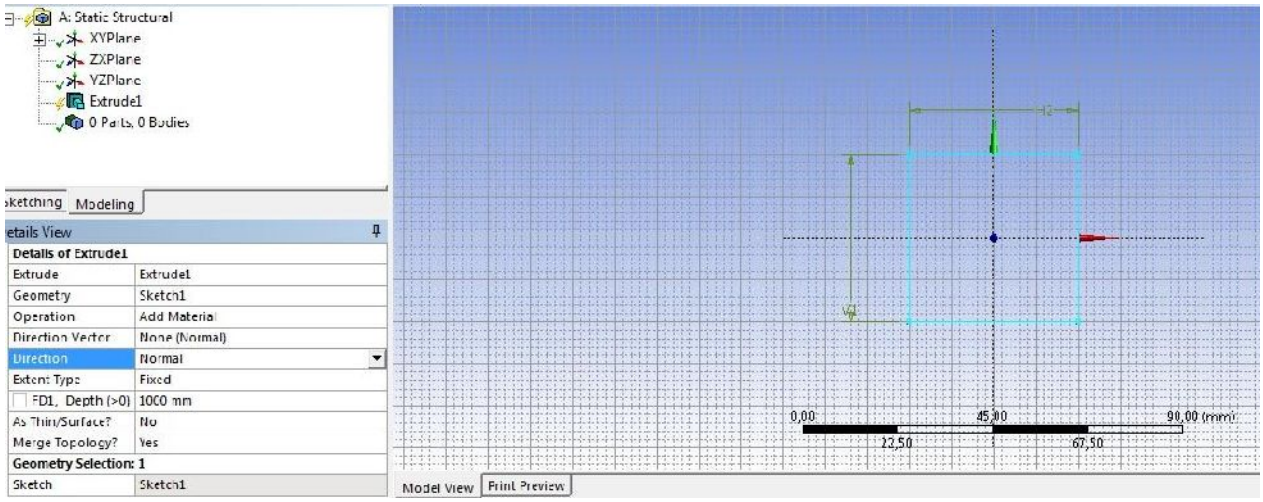

Рис. 4. Операція ***Extrude***

3.3.7. Generate – фіксуємо всі зміни при побудові частини моделі. Одержуємо тривимірну суцільну заготовку для балки (рис. 5).

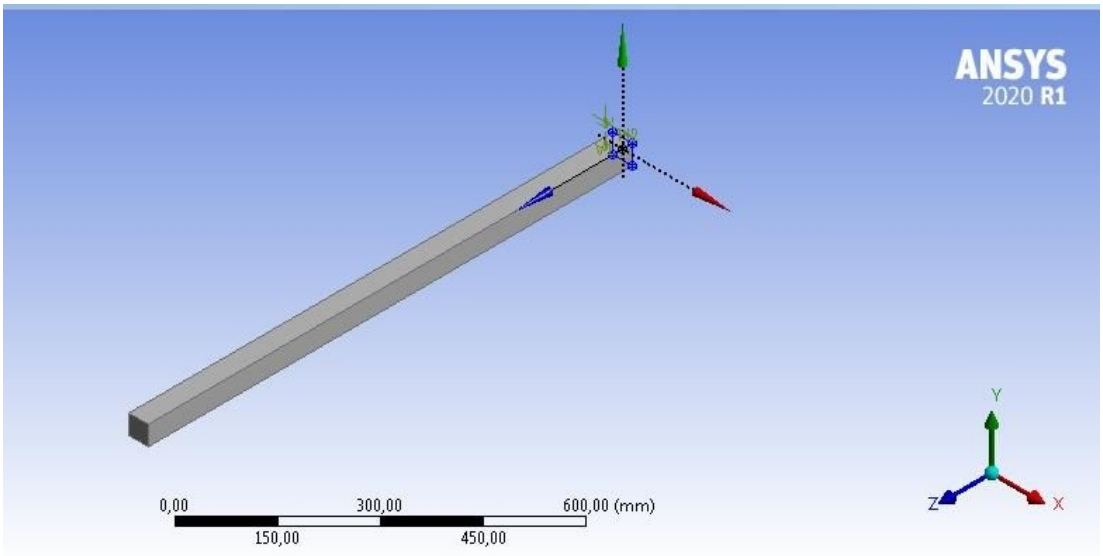

Рис. 5. Балка

3.3.8. Масштабування, пересування зображення, відміну операції можна здійснити з допомогою різних опцій меню, як то:

Main menu → Rotate/Pan/Zoom/UnDo та інші.

3.3.9. Закриваємо програму ***Desing Modeler*** та повертаємось до схеми проекту (***Project Schematic***).

4. Створення СЕ-сітки.

4.1. Активізація вікна підпрограми Mechanical.

Project schematic → Model (лівою кнопкою миші двічі
або правою кнопкою миші по опції Edit

Подальша робота відбувається в цьому вікні, яке має Головне меню (***Main Menu***), дерево моделі (***Outline***), вікно параметрів (***Details of …***) та вікно виводу графіки (***Geometry***). Дерево моделі надає доступ до всіх параметрів: геометрії, матеріалу, системи координат, СЕ, граничних умов та чисельного алгоритму.

4.2. Визначаємо розміри елементу СЕ-сітки

Mesh → Details of mesh → Element size → 20mm (рис. 6)

Outline → Mesh → Generate mesh

4.3. Або можна виконати тільки автоматичну побудову СЕ-сітки:

Outline → Mesh → Generate mesh

4.4. ***Для завдання граничних умов обираємо***

Outline → *Stati* Structural (A5)

З’являються пункти завдання граничних умов: ***Inertia*** («Сили інерції»), ***Loads*** («Навантаження»)**, *Supports*** («Обмеження»).

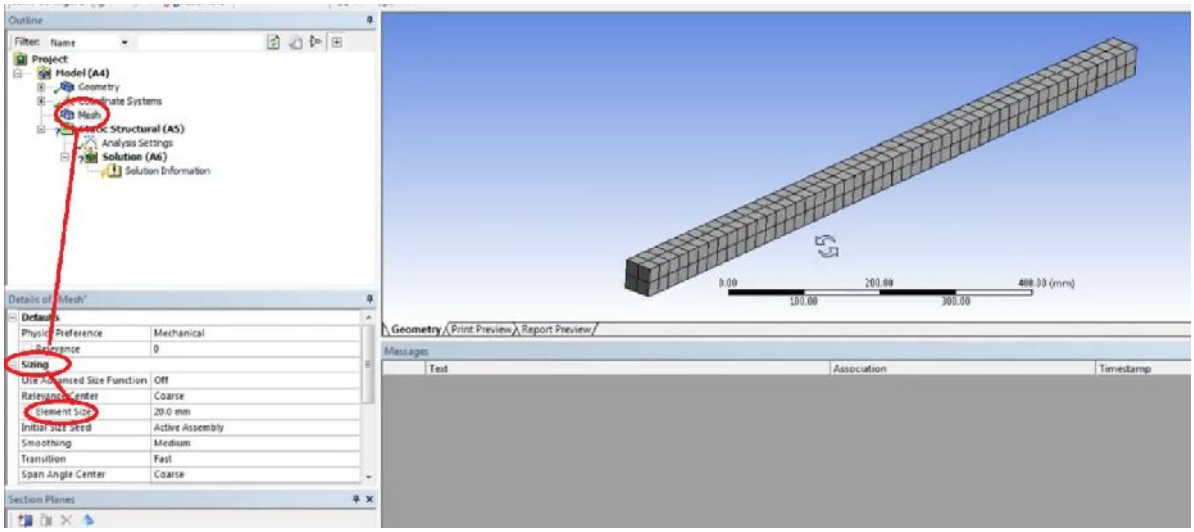

Рис. 6. Створення сітки

4.5. Задаємо варіант закріплення лівого краю балки (рис. 7):

Static Structural (A5) → Insert → Fixed supports → Обрати необхідну грань зліва - Details of Fixed supports → Apply

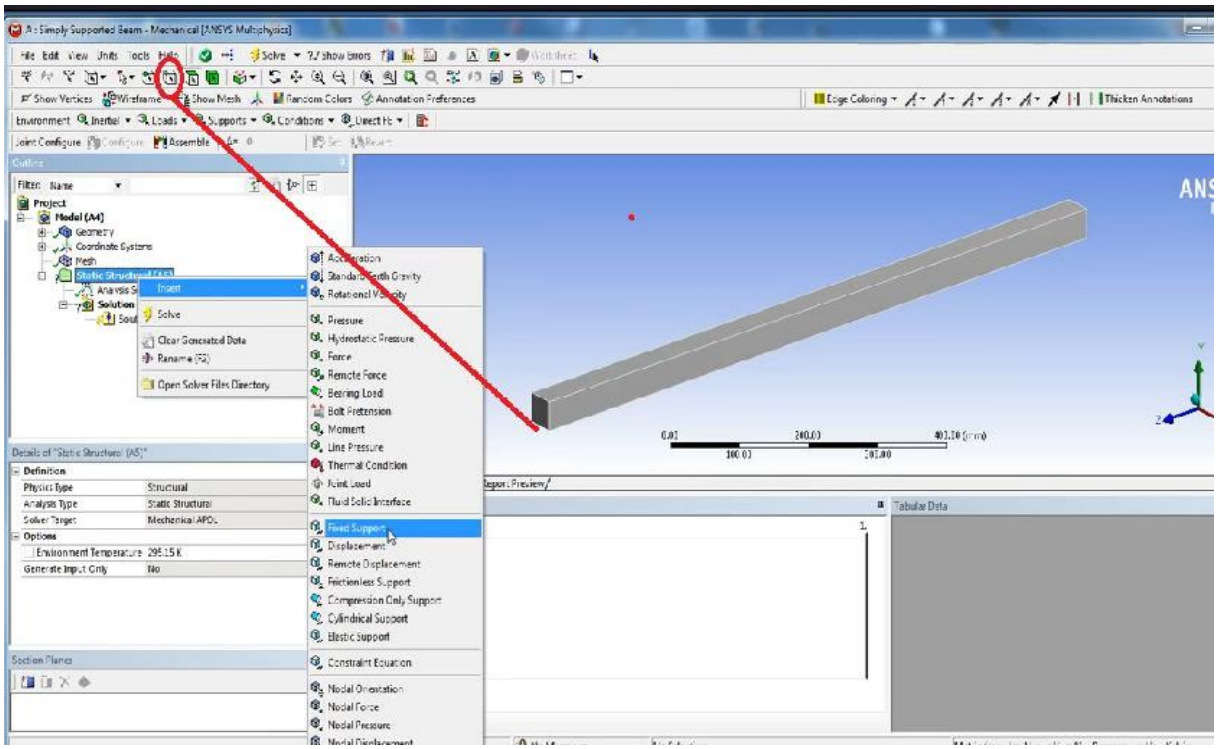

Рис. 7. Завдання граничних умов

4.6. Задаємо варіант закріплення правого краю балки (рис. 8):

Static Structural (A5) → Insert → Displaysmant → Обрати необхідну грань зліва - Details of Displaysmants → Apply

Details of Displaysmants → Constant → Y=0, X=0 → Z-Free → Apply

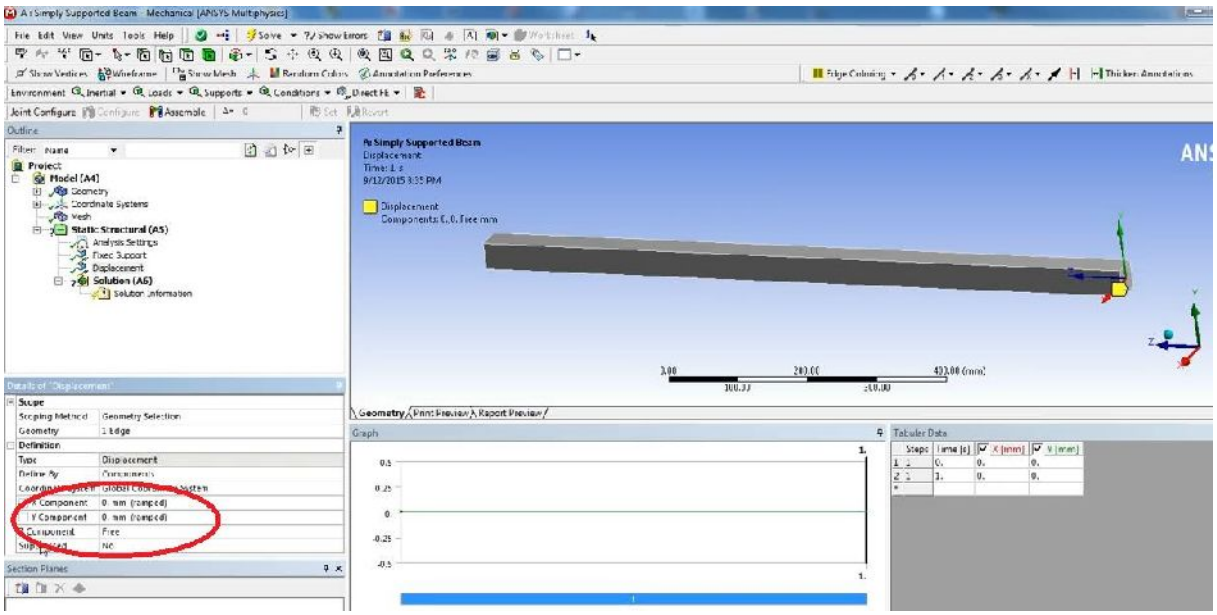

Рис. 8. Варіант закріплення правого краю балки

4.7. Для завдання розподіленого навантаження необхідно обрати (рис. 9):

Static Structural (A5) → Insert → Forse → Обрати необхідну поверхню → App

Вибір напрямку прикладання та величини навантаження:

Details of Displaysmants → *Direction* → Apply

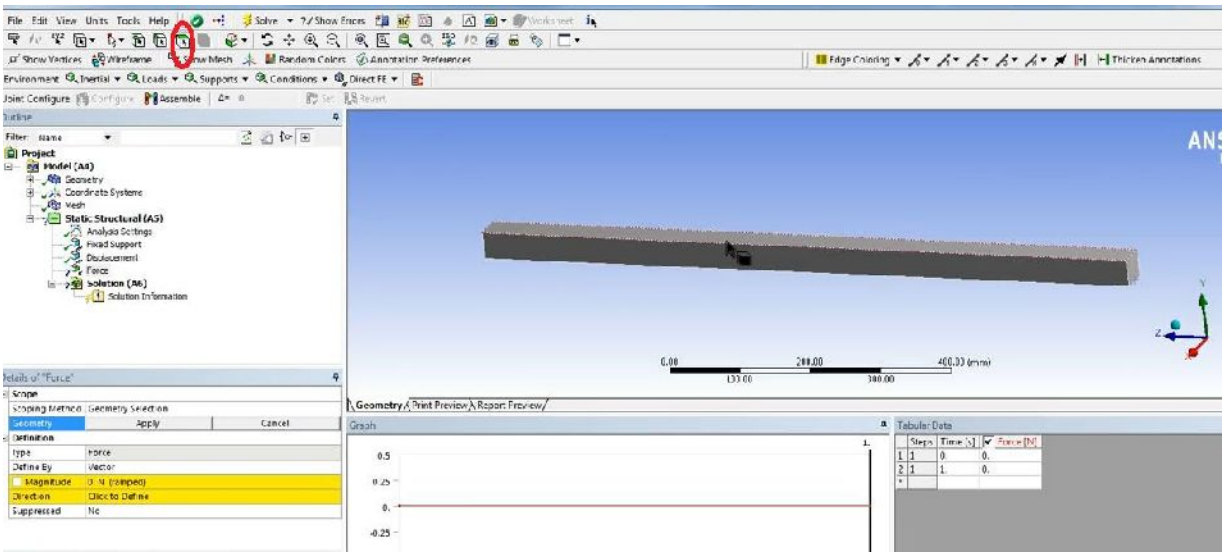

Рис. 9. Завдання розподіленого навантаження

Модель готова до розрахунків.

4.8. Вибір параметрів розрахунку:

Outline → *Solutio* (A6) → Insert

З'являються пункти параметрів розрахунку: ***Deformation*** («Переміщення»), ***Stress*** («Напруження») та інші. Обираємо ***Directional Deformations*** «Сумарні переміщення» (рис. 10):

Outline → *Solutio* (A6) → Insert → *Deformation- Directio* al

На панели

Details of Directional Deformations → *Orientatio* → Y Axsis

Обираємо еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 11):

Outline → Solutio (A6) → Insert → Stress → Equivalent (von-Mises)

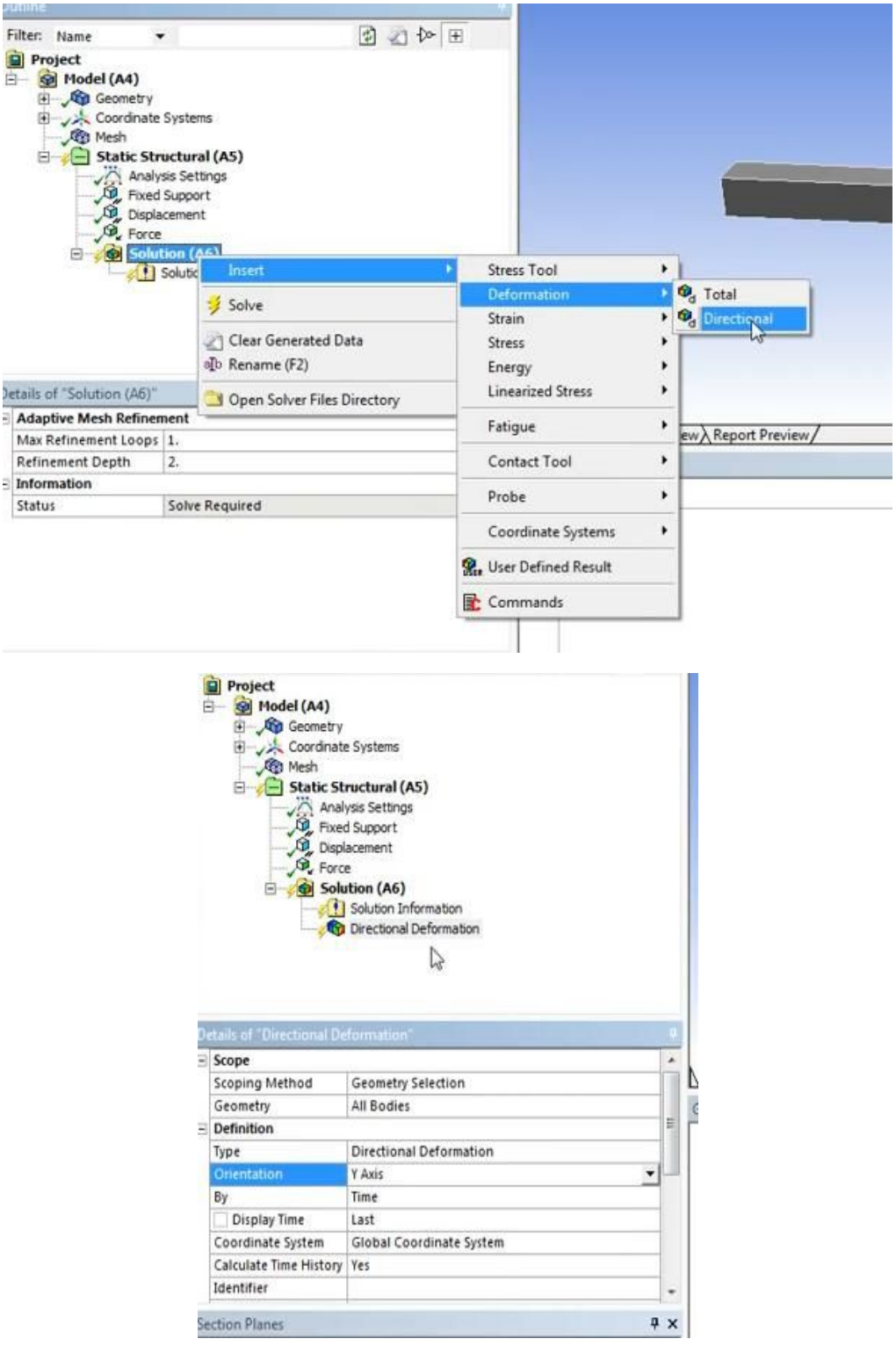

Рис. 10. Вибір параметрів розрахунку (переміщення)

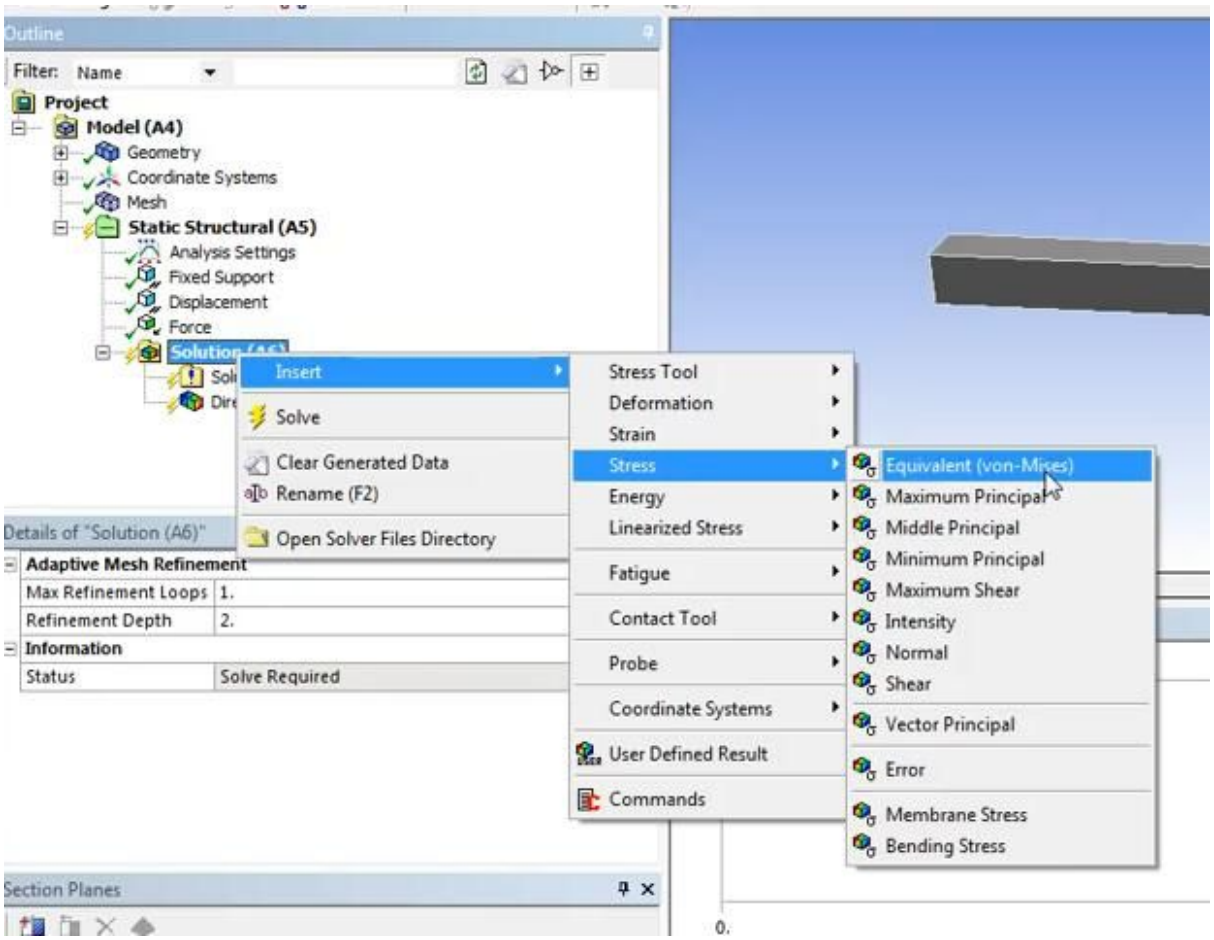

Рис. 11. Вибір параметрів розрахунку (напруження)

4.9. ***Solve*** – запустити вирішення

Результат обчислень наведено на рис.28-29.

Для того щоб подивитись розподіл напружень за перерізом, на панелі треба обрати ***Section plane*** та позначити місце перерізу (рис. 12).

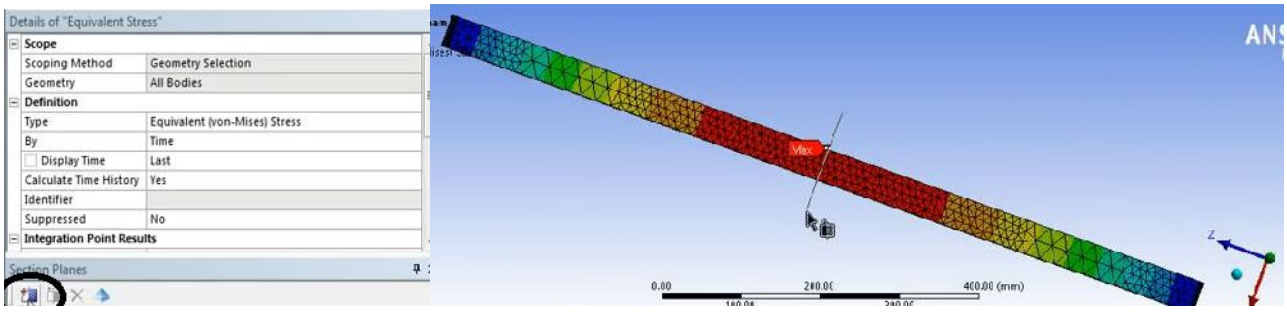

Рис. 12. Позначення місця перерізу

Результат обчислень наведено на рис.30

Для побудови епюри обираємо:

Model → Insert → *Constructio* Geometry → Insert → Path → обрати грань початку → Coordinate → Apply → обрати грань кінця → End → Apply (рис. 13 – 15)

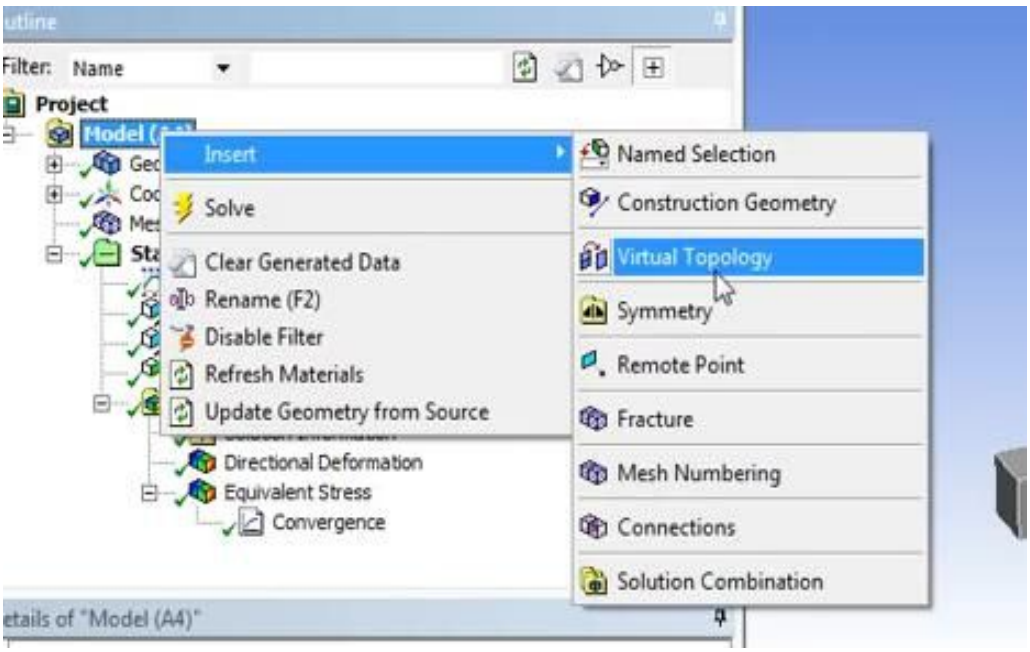

Рис. 13.

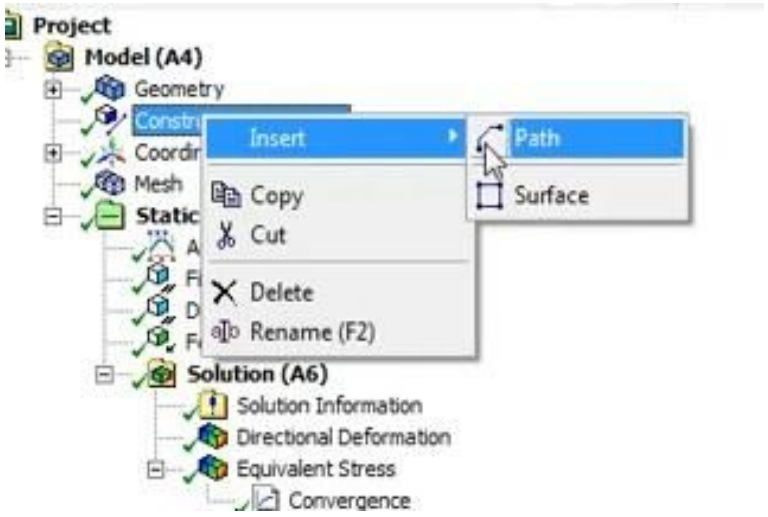

Рис. 14.

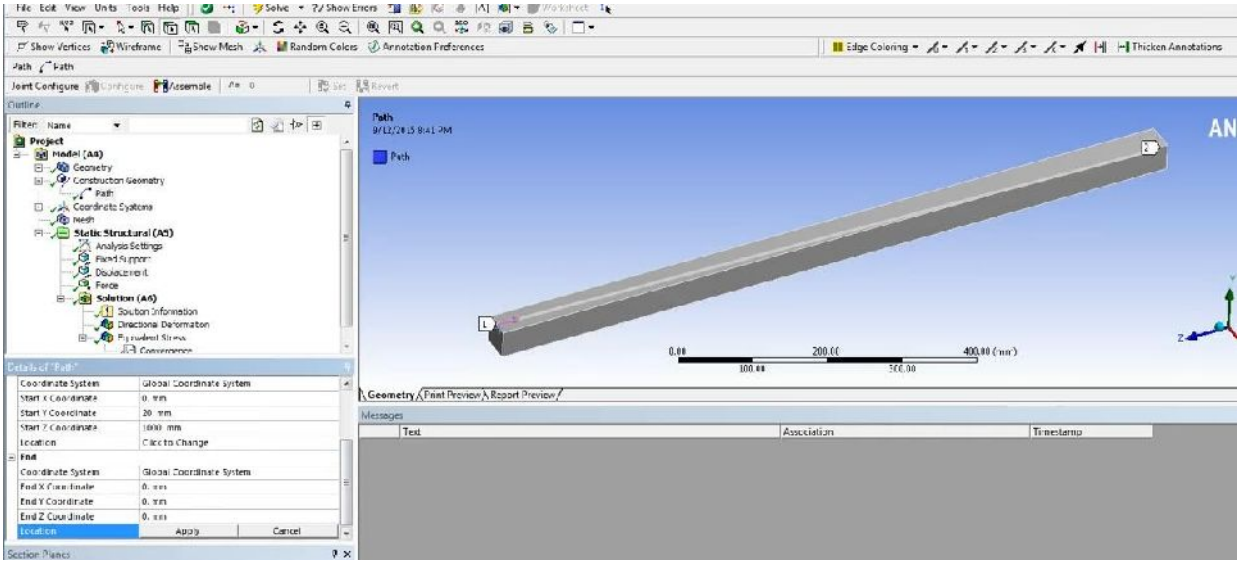

Рис. 15.

Для побудови лінії деформації необхідно обрати:

Path → *Solutio* (A6) → *Directio al Deformation* → *Duplicate Without Results* (рис. 16)

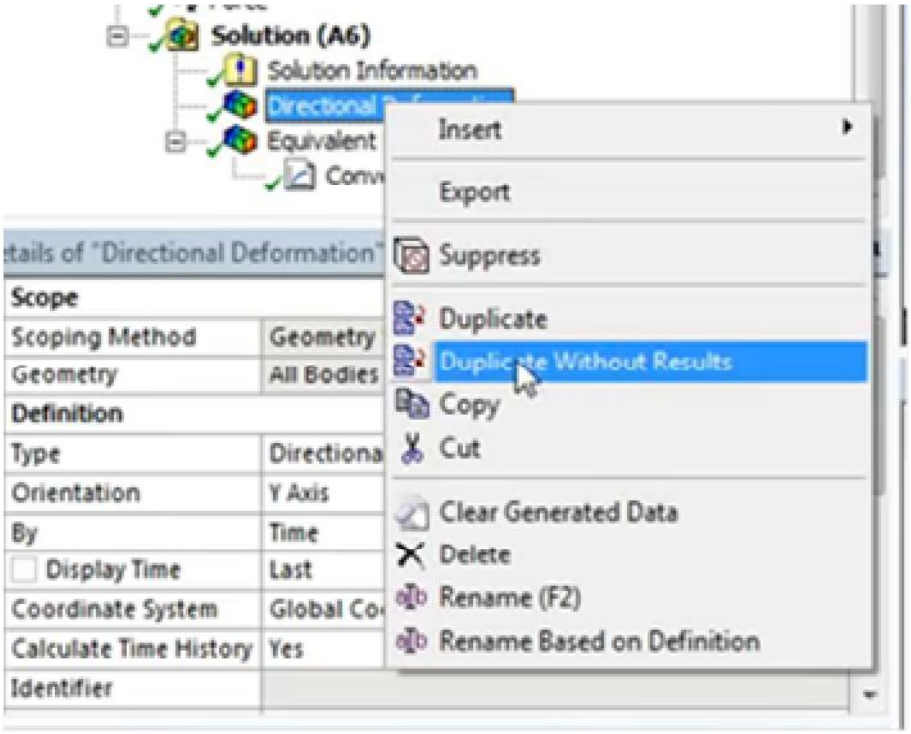

Рис. 16

На панелі ***Details of Directional Deformation2***

Details of Deformation2 → *Scoping Method* → *Pat* (рис. 17)

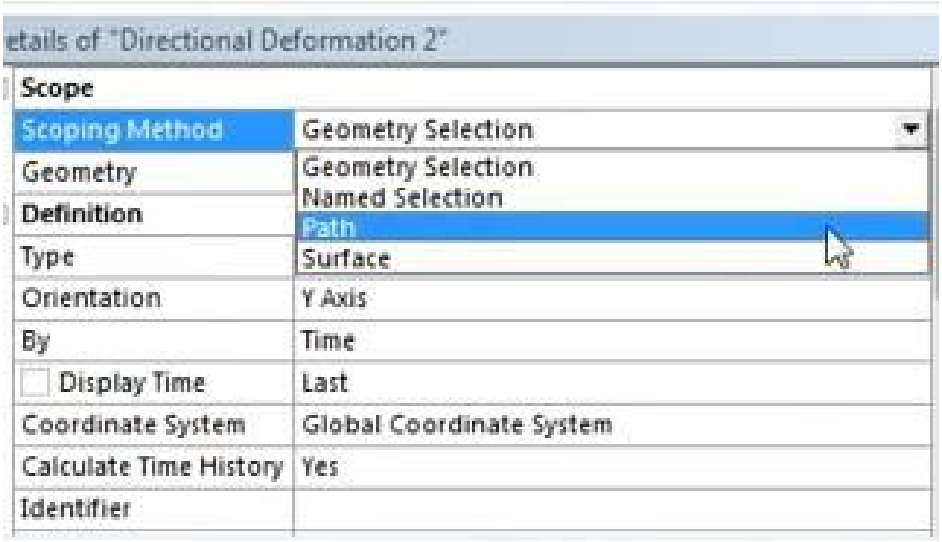

Рис. 17

Details of Deformation2 → Path → Pat (рис. 18)

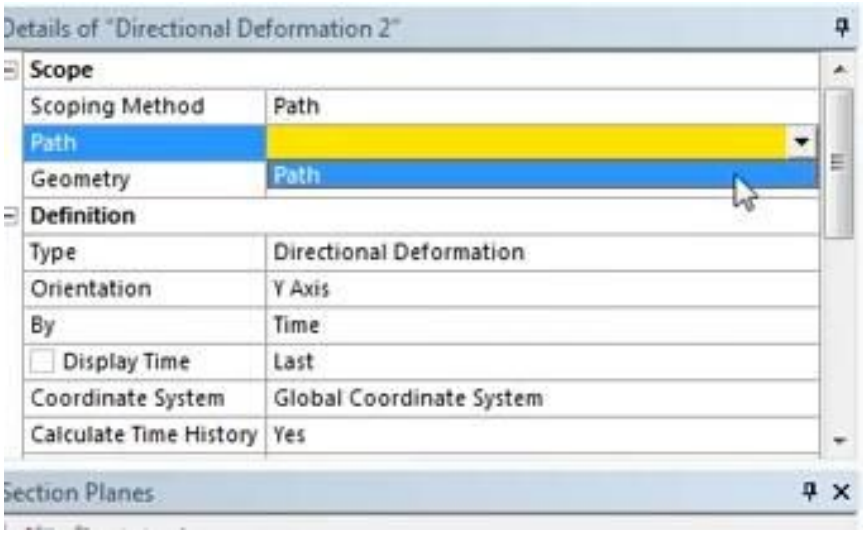

Рис. 18.

Solution(A6) → *Directio al Deformation2 → Evaluate All Result* (рис. 19)

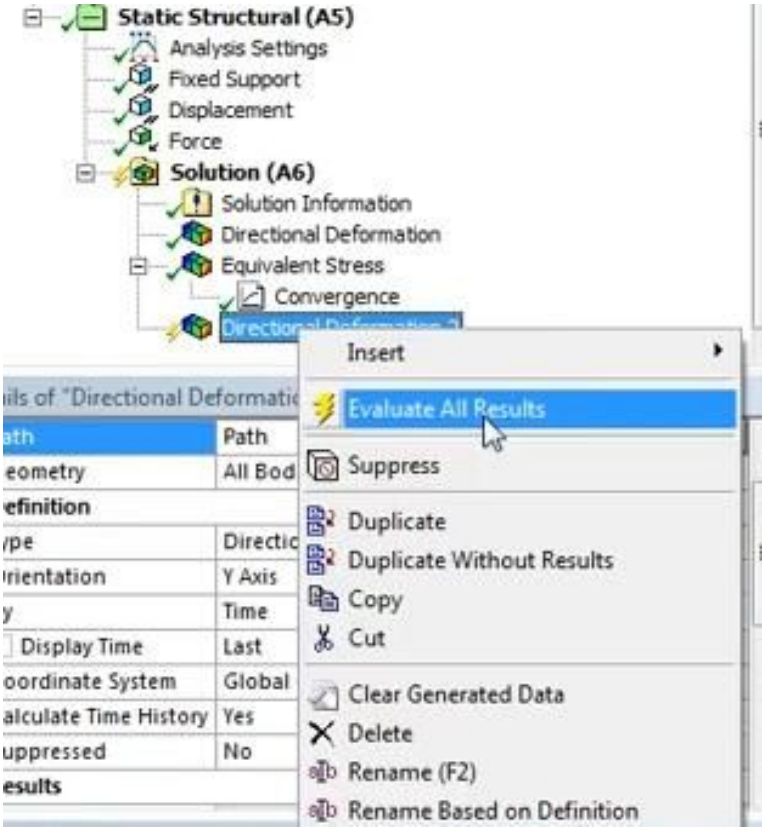

Рис. 19

Результат обчислень наведено на (рис.31). Для отримання епюри напружень обираємо:

Solution (A6) → Equivalent stress → Duplicate Without Result (рис. 20)

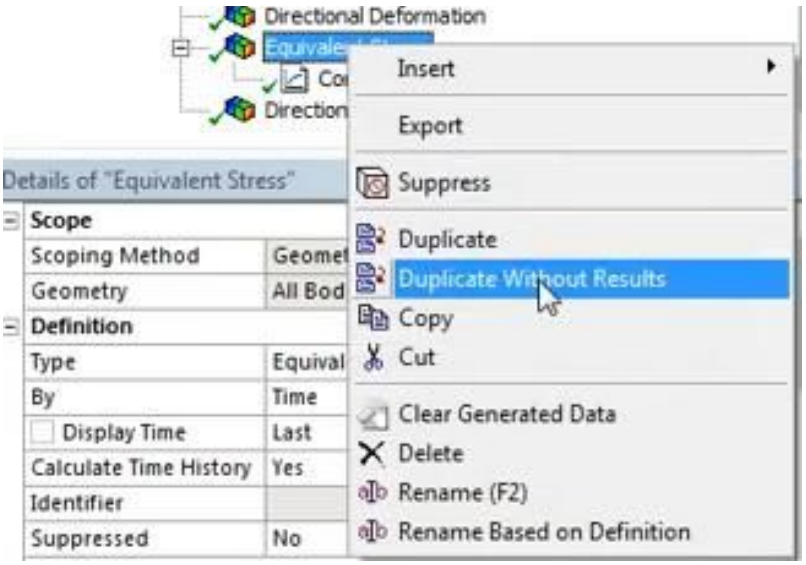

Рис. 20

Details of Equivalent stress 2 → Scoping Method → Path (рис. 21)

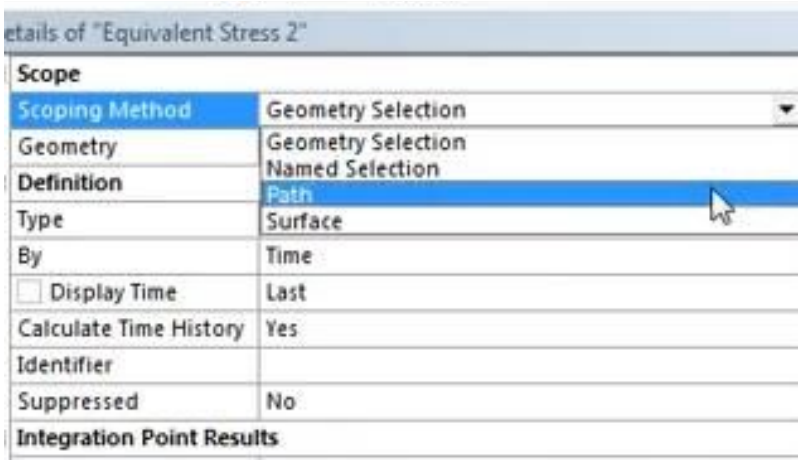

Рис. 21

Details of Equivalent stress 2 → Path → Path (рис. 22)

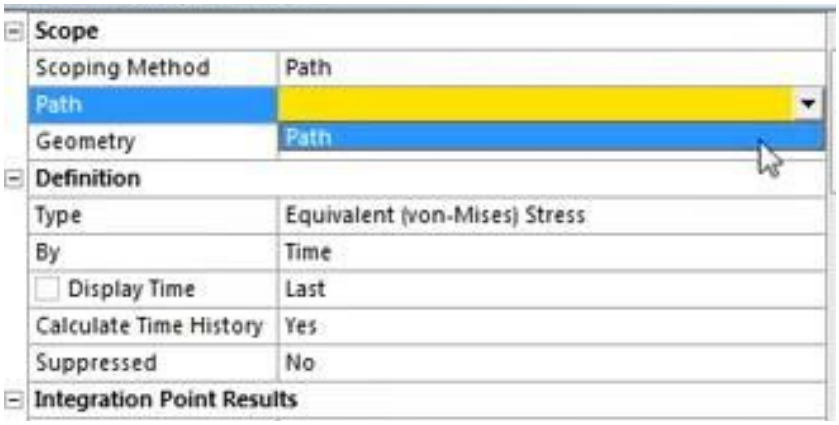

Рис. 22

Solution(A6) → Equivalent stress 2 → Evaluate All Resul (рис. 23)

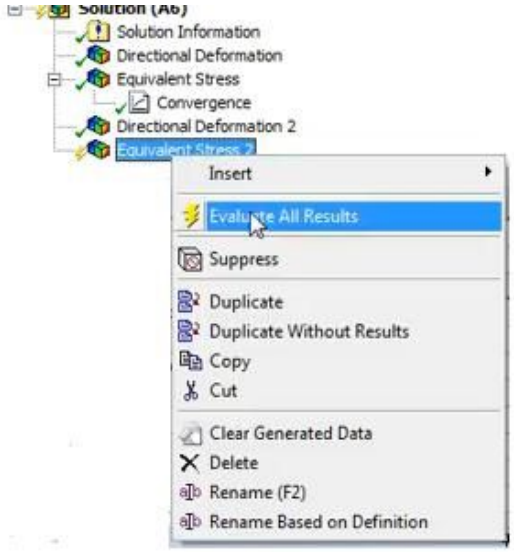

Рис. 23

Результат обчислень наведено на (рис.32). Для визначення нормальних напружень обираємо:

Outline → *Soluti* n (A6) → Insert → Stress → Normal (рис. 24)

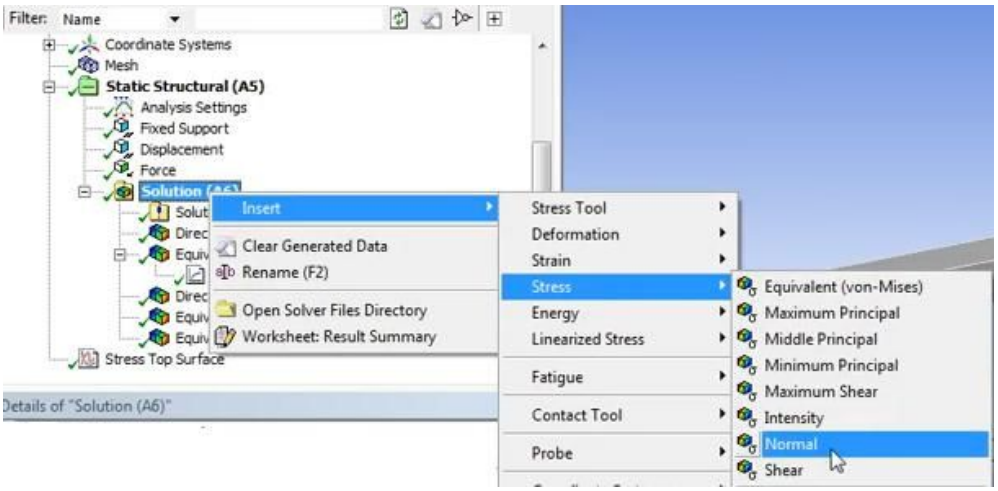

Рис. 24

Details of Normal stress → *Orientatio* → ZAxis (рис. 25)

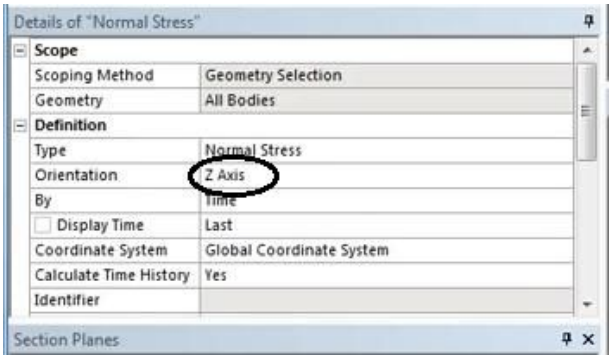

Рис. 25

Outline → *Solution(A6* → Normal stress → Evaluate All Results (рис. 26)

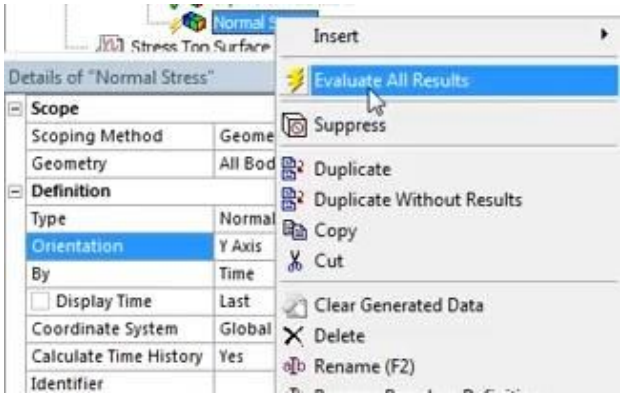

Рис. 26

В результаті розрахунків маємо розподіл нормальних напружень (рис.33).

4.10. Save – зберігання готового проекту.

По ходу виконання проекту для формування звіту потрібно зберігати у файлах копії поточних рисунків. Це можна зробити двома способами. Або ***Image*** та зберегти зображення, або ***Figure*** та найменування відповідних операцій (рис. 27).

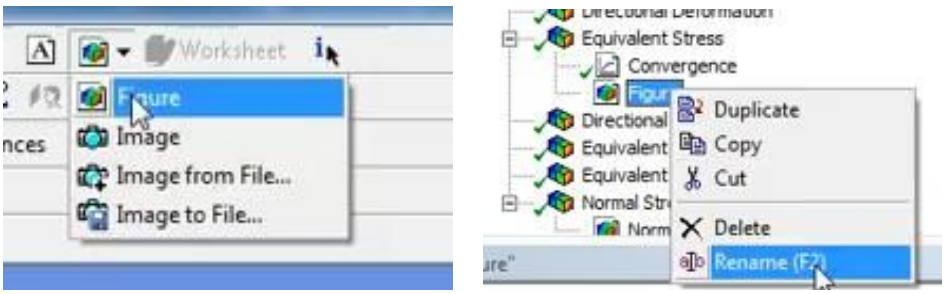

Рис. 27. Збереження копій поточних рисунків

Результати розрахунків

На рис. 28 - 33 наведений розподіл параметрів напружено-деформованого стану в сталевій балці, яка навантажена постійним розподіленим навантаженням.

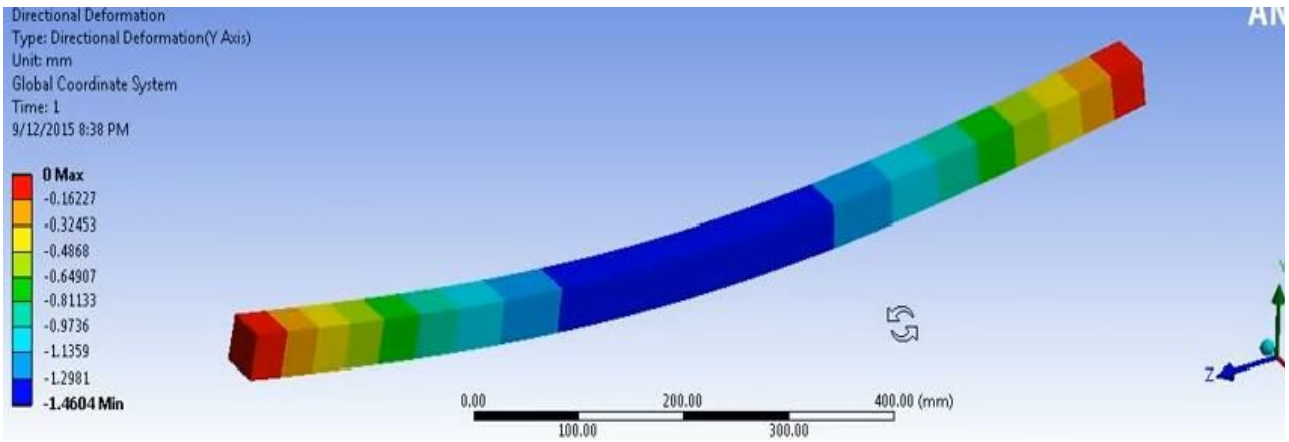

Рис. 28. Деформації в напрямку осі Y

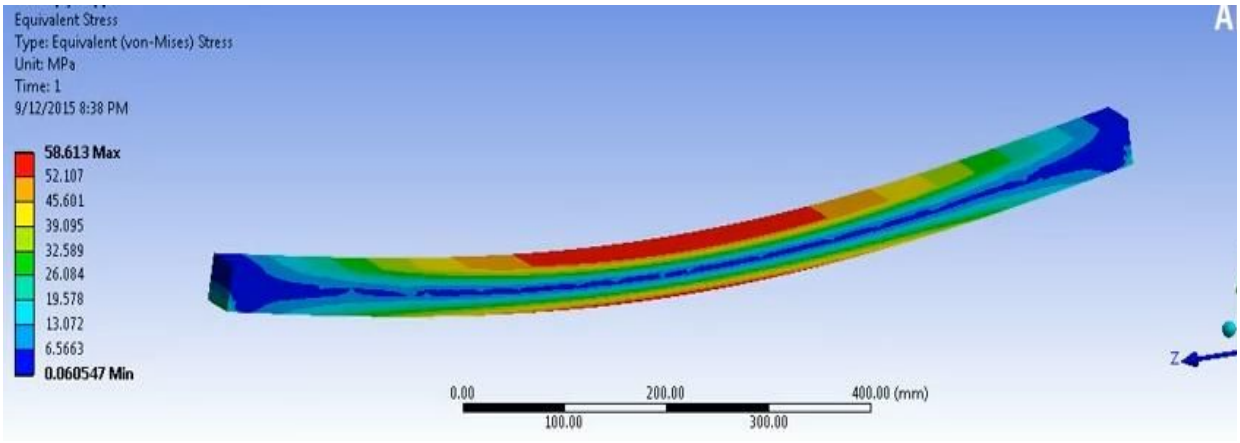

Рис. 29. Еквівалентні напруження

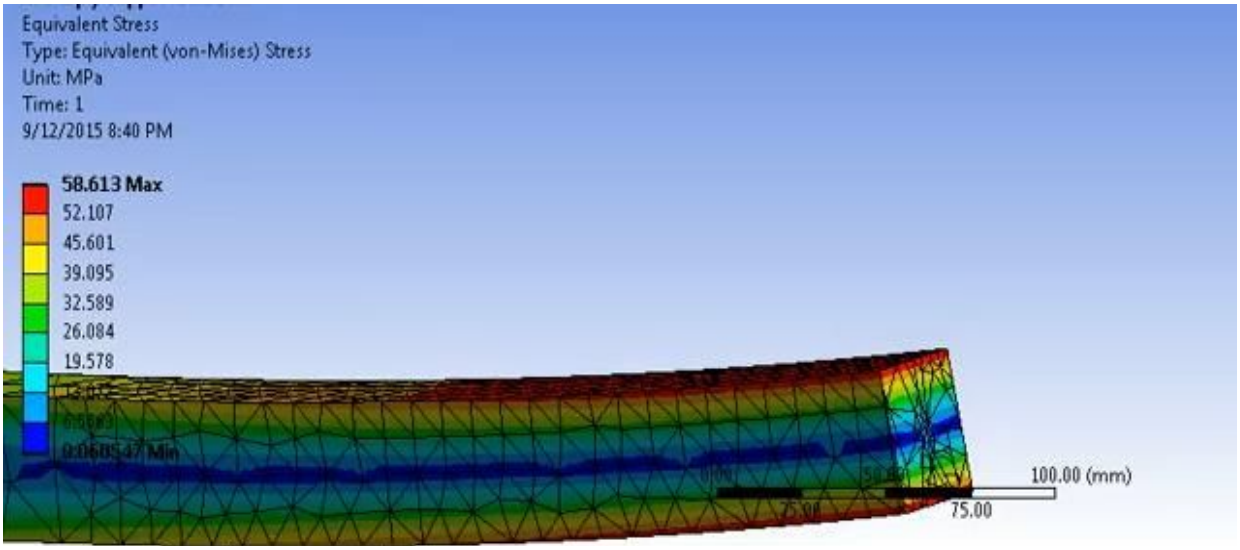

Рис. 30. Еквівалентні напруження в перерізі.

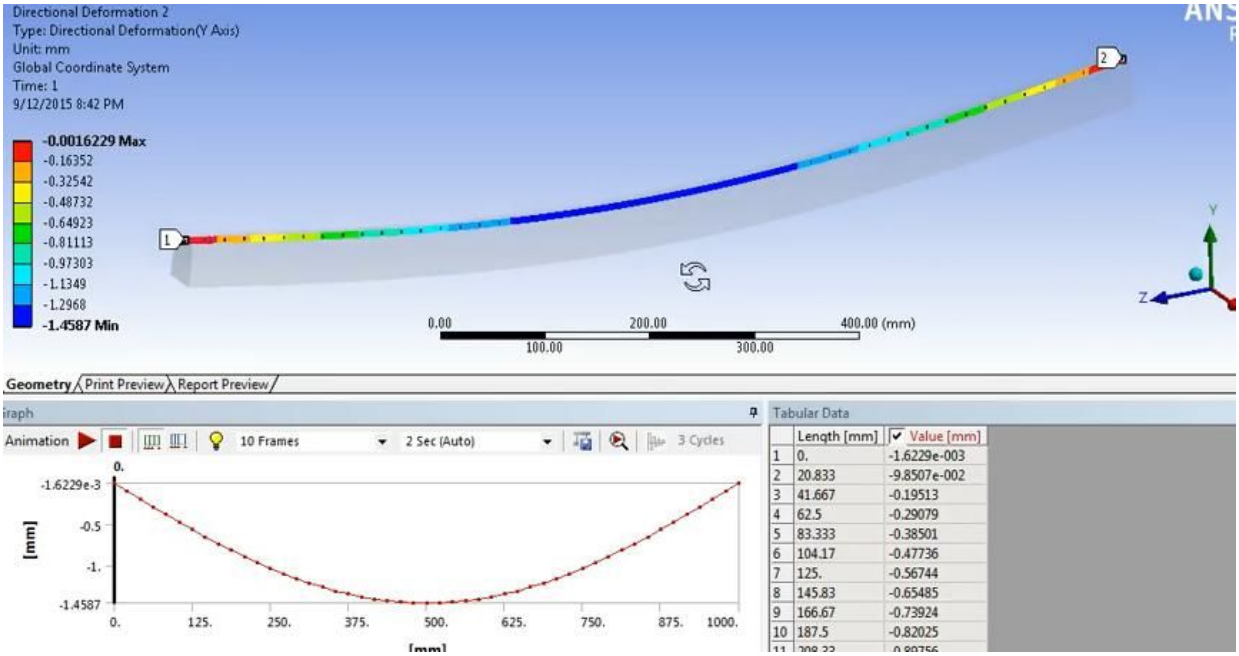

Рис. 31. Епюра деформацій

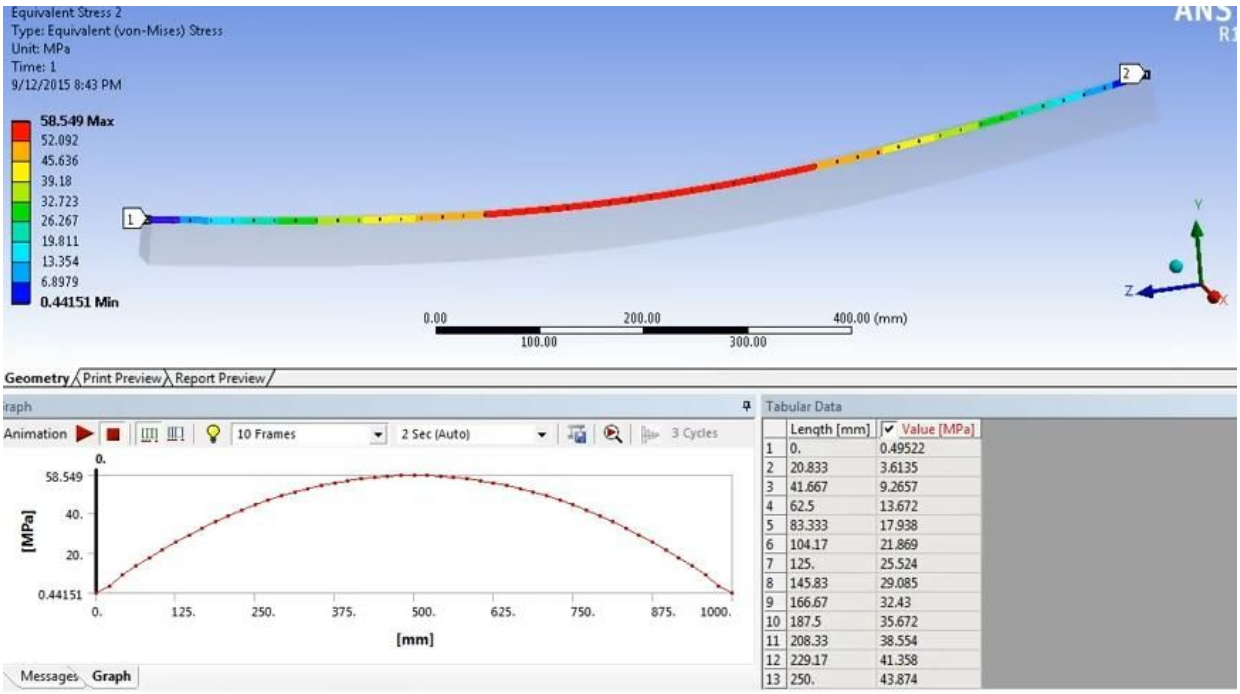

Рис. 32. Епюра еквівалентних напружень

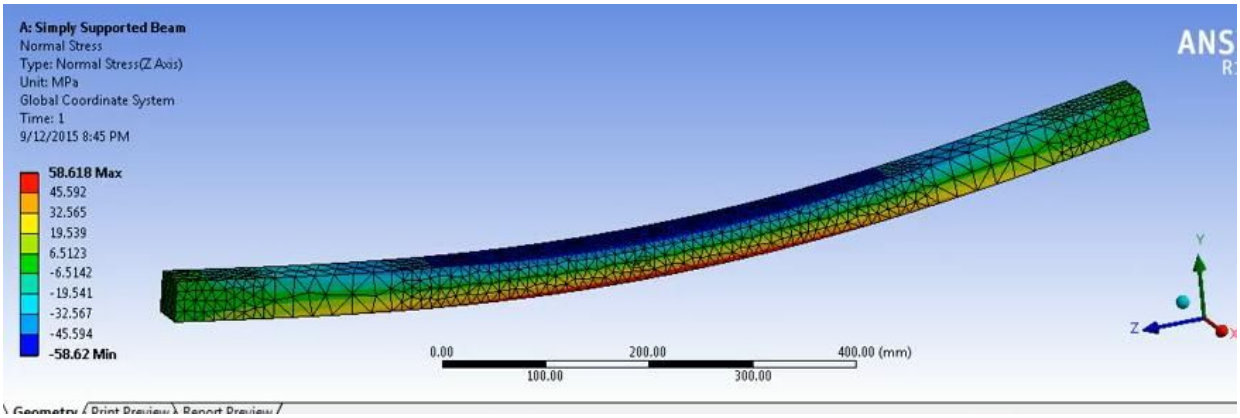

Рис. 33. Епюра нормальних напружень

Контрольні питання:

1. Послідовність яких команд визначає завдання матеріалу в проекті?

2. Що таке граничні умови?

3. За допомогою яких команд можна налаштувати СЕМ в програмному середовищі *Ansys Workbench*?

4. Пояснити, що таке напруження, деформація, закон Гука, *E* та яким чином ці характеристики задаються для конкретного матеріалу?

5. Яка команда запускає на розрахунок всі завдання?

ЛІТЕРАТУРА

1. Руководство пользователя ANSYS. Краткий курс Краткое описание основ в Ansys. — 26 с.
2. Бруяка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. — Учебное пособие. — Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2010. — 271 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах Под общ. ред. Д. Г. Красковского. — М: КомпьютерПресс, 2002. —224 с: ил.
4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя М.: ДМК Пресс, 2005. — 640 с.: ил.

Навчальне видання

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗПОДІЛЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛКИ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

Укладачі:

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

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Умов. друк. арк. 1,28
Наклад 100 примірників.

Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44