



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет мехатроніки та інжинірингу
Кафедра надійності та міцності машин і споруд
ім. В. Я. Аніловича

ОПІР МАТЕРІАЛІВ. ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ГВИНТОВОЇ ПРУЖИНИ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Опір матеріалів»
та «Механіка матеріалів і конструкцій»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної, заочної та дистанційної форм навчання
інженерних спеціальностей

Харків
2024

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет мехатроніки та інжинірингу
Кафедра надійності та міцності машин і споруд
ім. В. Я. Аніловича

**ОПІР МАТЕРІАЛІВ.
ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ
ГВИНТОВОЇ ПРУЖИНИ**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Опір матеріалів»
та «Механіка матеріалів і конструкцій»

Для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання
інженерних спеціальностей

Затверджено рішенням
Науково-методичної комісії
факультету мехатроніки
та інжинірингу
Протокол № 4

від 21 лютого 2024р

Харків
2024

УДК 620.17(072)

О-61

Схвалено на засіданні
кафедри надійності та міцності машин і споруд ім. В.Я.Аніловича

Протокол №10 від «22» січня 2024 р.

Рецензенти:

Алфьоров О.І. д.т.н., проф. кафедри проектування технічних систем, Сумського національного аграрного університету

Шентун С.Ю. к.т.н., старший викладач кафедри надійності та міцності машин і споруд ім.В.Я Аніловича, Державний біотехнологічний університет

О-61 Опір матеріалів. Визначення деформації гвинтової пружини: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Опір матеріалів» та «Механіка матеріалів і конструкцій» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч. інженерних спеціальностей / Державний біотехнологічний університет; авт.-уклад.: М.В.Марченко, В.Б.Савченко, О.А.Свіргун, В.І.Іванов. - Харків: [б. в.], 2024. - 22с.

Методичні вказівки «Опір матеріалів. Визначення деформації гвинтової пружини» розроблено з метою надання практичних навичок здобувачами освіти під час виконання ними лабораторних робіт з дисципліни опір матеріалів (механіка матеріалів і конструкцій). Включають необхідні теоретичні положення, які дозволяють здобувачам освіти зрозуміти сутність явищ, які досліджуються. Методичні вказівки містять також опис порядку, методів і прийомів виконання лабораторної роботи. В додатку надано довідковий матеріал.

Видання призначене для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання інженерних спеціальностей.

Відповідальний за випуск (в.о. зав.каф.) : М. В. Марченко, к.т.н., доцент.

© М.В.Марченко, В.Б.Савченко,
О.А.Свіргун, В.І.Іванов

© ДБТУ, 2024

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ГВИНТОВОЇ ПРУЖИНИ

Мета роботи

Побудова характеристики пружини $\lambda = f(P)$ на підставі виконаних розрахунків, та за даними, що отримано експериментально; експериментальна перевірка формул для визначення деформації (осади) пружини; визначення максимальних напружень, які діють у витках пружини.

Прилади та обладнання

При виконанні лабораторної роботи може використовуватись таке обладнання: прилад типу ДП-6А (рис.1) для визначення характеристик гвинтових пружин стискання (розтягування); штангенциркуль, комп'ютер.

Практичну частину лабораторної роботи, студенти можуть виконувати за допомогою лабораторної установки ДП-6А, або/та числової моделі гвинтової пружини, що завантажено в програмний пакет скінчено-елементного аналізу ANSYS. Використання цифрової моделі надає можливості не тільки задавати гнучкі режими навантажень, але і проводити заплановані вимірювання дослідницького характеру – наприклад досліджувати пружини з різних матеріалів, зі змінним шагом або змінним діаметром прутка.

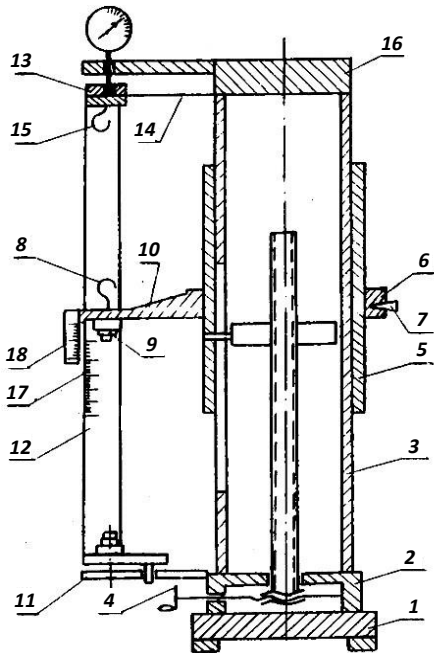


Рис.1. Прилад типу ДП-6А

Теоретичні положення

Пружина є елементом конструкцій машин, який слугує для передачі пружно-поступального руху деталям, вузлам та механізмам. Ця дія обумовлена властивістю накопичення та поглинання механічної енергії. Також пружина може використовуватися в різних конструкціях для гасіння коливань.

Гвинтова пружина - найпоширеніший у техніці тип пружини. Найчастіше їх виготовляють із сталевих стрижнів (дроту) круглого поперечного перерізу. Гвинтові пружини в робочому стані піддаються процесу деформації, тобто розтягуються або стискаються. Цей пружний елемент знайшов найширше застосування в машинобудуванні та автомобільної промисловості. Гвинтові пружини можуть бути циліндричної або конічної форми, з постійним діаметром витків, або зі змінним діаметром. Пружини зі змінним діаметром та шагом витків, застосовуються наприклад, в амортизаторах.

До гвинтових пружин відносяться, наприклад, клапанні пружини. Вони призначені для закриття клапана і повернення його в сідло після того, як з нього буде знято навантаження розподільчого валу. Крім того, пружина клапана забезпечує утримання клапана в закритому положенні, що забезпечує щільну посадку клапана в сідлі. В результаті дії навантажень, початкова висота і жорсткість пружин у процесі її роботи зменшуються. Відповідно до технічних вимог на капітальний ремонт двигунів, значення пружності клапанних пружин, тобто зусилля стиснення до довжини, яка відповідає положенню «відкритого» та «закритого» клапана, суворо регламентовані. У центрах СТО дефектація клапанних пружин проводиться за допомогою спеціального приладу. Схожі випробування виконуються і в цій роботі.

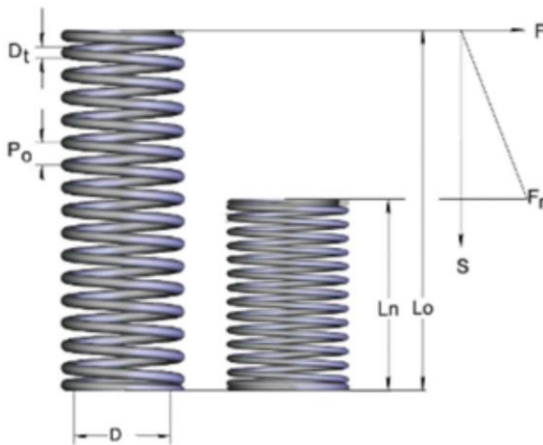


Рис.2. Гвинтова пружина

В лабораторній роботі досліджуються пружини, які піддаються дії лише стискаючих сил (тобто пружини стискання). Для того, щоб виконати розрахунок пружини на міцність, необхідно знати, які внутрішні сили виникають в матеріалі прутка, з якого виготовлена пружина.

Щоб відповісти на це питання, необхідно розглянути схему дії зовнішніх сил та виникнення внутрішніх зусиль у витку пружини (рис.3).

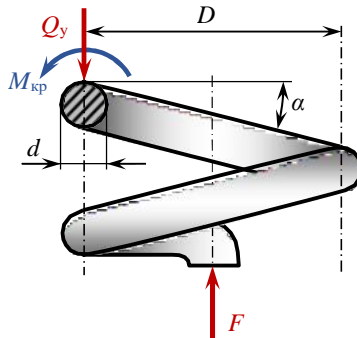


Рис. 3. Схема навантаження витка гвинтової пружини

Аналізуючи наведену схему, слід зазначити, що сила F корисного навантаження, з одного боку утворює в середині прутка перерізуючі напруження від дії поперечної сили Q_y . З іншого боку, та сама сила F призводить до виникнення крутного моменту $M_{кр}$, оскільки лінія її дії не проходить через центр площі поперечного перерізу прутка пружини. В результаті також виникають дотичні напруження.

Таким чином, в результаті дії стискаючого (розтягуючого) зусилля, в поперечних перерізах прутка пружини виникають дотичні напруження зрізу і кручення, які можуть бути визначені по формулі

$$\tau_{\max} = \tau' + \tau'' = \frac{4F}{\pi d^2} + \frac{8FD}{\pi d^3} = \frac{8FD}{\pi d^3} \left(1 + \frac{d}{2D}\right), \quad (1)$$

де τ' – напруження зрізу;

τ'' – напруження кручення;

D – середній діаметр пружини;

F – осьова сила, прикладена до пружини;

d – діаметр стрижня, з якого виконана пружина.

Зазвичай $d \ll D$ (пружини з малим кроком витка), тому

$$\tau_{\max} = \frac{8FD}{\pi d^3} \quad (2)$$

Для таких пружин, у яких діаметр прутка значно менший за радіус ви-

тка, можна знехтувати напруженнями зрізу, що є значно меншими у порівнянні з напруженнями, які виникають від дії крутного моменту.

Пружини стискання набули широкого поширення в техніці саме тому, що при відносно малих розмірах, витримуючи значне навантаження, дозволяють отримати значні переміщення.

Отже, найважливішою характеристикою пружини є залежність її деформації (осідання) від навантаження, що прикладається. Теоретичну величину осідання пружини λ можна розрахувати, використовуючи інтеграл Мора для визначення переміщень. Вважаючи, що витки пружини піддаються лише деформації кручення, можемо записати

$$\lambda = \frac{8FD^3n}{Gd^4}, \quad (3)$$

де n – число витків пружини;

G – модуль пружності 2-го роду (модуль зсуву) матеріалу пружини.

Використовуючи поняття жорсткості пружини

$$C = \frac{Gd^4}{8D^3n}. \quad (4)$$

можна записати

$$\lambda = \frac{F}{C} \quad (5)$$

Характеристикою пружини вважається залежність осідання λ пружини від зовнішньої сили F . Зазвичай цю залежність представляють у вигляді графіка (рис.4).

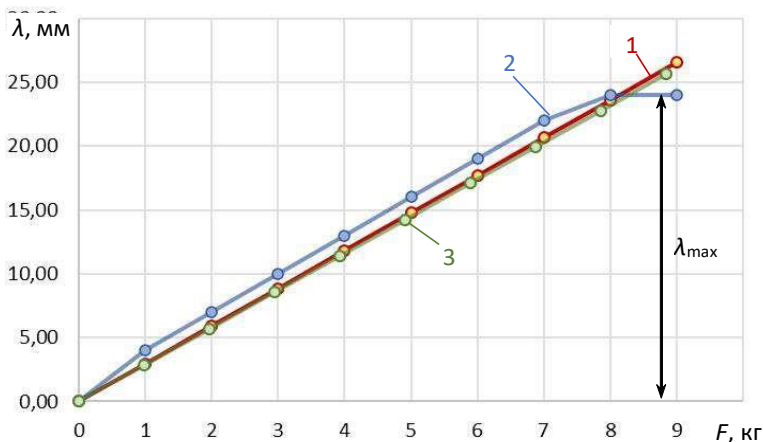


Рис. 4. Результати визначення деформації пружини в залежності від навантаження: **1** – теоретична залежність; **2** – експериментальні дані; **3** – дані цифрової моделі

Максимальну осадку пружини, при якій витки пружини лягають один на одного (зникає зазор між витками) приблизно можна визначити за допомогою залежності

$$\lambda_{\max} = H - nd \quad (6)$$

де H – висота пружини у вільному стані.

Порядок виконання роботи

1. Побудова теоретичної залежності деформації пружини від прикладеного навантаження.

Виконати обміри параметрів пружини за допомогою штангенциркуля, та результати занести у таблицю 1.

Таблиця 1. Параметри пружини

№ пп	Назва параметра та одиниці виміру	Позначення	Величина
1	Зовнішній діаметр пружини, мм	D_1	
2	Діаметр прутка пружини, мм	D	
3	Розрахунковий діаметр витка пружини, мм	$D = D_1 - d$	
4	Модуль пружності при зсуві, Н/мм ²	G	$8 \cdot 10^5$
5	Повне число витків, шт.	K	
6	Робоче число витків, шт.	$n = K - 1$	
7	Висота пружини, мм	H	

Визначити граничні умови роботи пружини, а саме:

- максимальну осадку $\lambda_{\max} = \text{_____}$ мм;
- максимальне навантаження (за графіком) $F_{\max} = F(\lambda_{\max}) = \text{_____}$ Н;
- максимальні дотичні напруження $\tau_{\max} = \text{_____}$ МПа.

Виконати розрахунки деформації пружини в залежності від величини навантаження, використовуючи формулу (3) для діапазону навантажень $0 \leq F_i \leq F_{\max}$. Результати розрахунків занести до таблиці 2. За отриманими значеннями F та λ побудувати графік (див. рис. 4.) (лінія 1 – червона).

2. Експериментальне визначення величини осадки пружини в залежності від величини прикладеного навантаження.

В залежності від способу організації проведення експериментальної частини лабораторної роботи, провести опитне визначення величини осадки пружини, використовуючи її натурну модель на установці ДП-6А, або (та) цифрову модель в програмі ANSYS. Результати експериментального визначення величини осадки пружини також занести до таблиці 2, та відкласти їх на графіку (див. рис. 4.).

Таблиця 2. Результати теоретичного та експериментального дослідження

Навантаження F_f , кг	Величина деформації		Розбіжність $\Delta_e = \left \frac{e}{e} \right \cdot 100\%$
	теоретична t	експериментальна e	

3. Проаналізувати отримані результати і зробити висновки

У висновках по лабораторній роботі, студент має проаналізувати, який характер має залежність деформації гвинтової пружини від величини прикладеного навантаження.

Опис моделі гвинтової пружини та методика проведення експериментального дослідження

□ При використанні лабораторної установки ДП-6А

Прилад (рис. 1) складається з литої основи 1, до верхньої площини якої кріпиться редуктор 2 та трубчаста колонка 3. На колонці змонтовано робочу рамку та вимірювальні пристрої. Редуктор складається з черв'яка, на валу якого закріплений маховичок 4, черв'ячного колеса та ходового гвинта, який розташований всередині колонки. При обертанні маховичка, ходовий гвинт переміщає вздовж вертикальної осі приладу гайку-втулку 5. На втулку 5 посаджений кронштейн 6 який можна переміщати вручну вздовж втулки і фіксувати в потрібному положенні ручкою зажиму 7.

Переміщення та встановлення кронштейна здійснюється при переході від роботи з пружинами розтягування до роботи з пружинами стиснення, або навпаки. На кронштейні закріплений нижній гачок 8 пружин розтягування і верхня ступінчаста опора 9 для пружин стиснення. Робоча рамка складається з верхньої 10 і нижньої 11 траверс, з'єднаних між собою двома плоскими металевими смугами 12. На верхній траверсі закріплена поперечина 13, в нижній частині якої є дві кульки, які упираються в плоску вимірювальну пружину 14. Верхня траверса прикріплена до металевої пластини, яка закріплена на колонці і має верхній гачок 15 для кріплення пружин розтягування.

Нижня траверса має два отвори, в які входять із зазором два напрямні штифти, закріплені на планці, яку встановлено на верхній частині корпусу редуктора.

У верхній частині приладу закріплений кронштейн 16 з індикатором годинникового типу 16, головка якого упирається у вимірювальну пружину 14.

При переміщенні кронштейна, встановлені на опорах або гачках пружини навантажуються зусиллями, які їх стискають або розтягують. Ці зусилля передаються робочій рамці, яка деформує заздалегідь відтаровану за навантаженням вимірювальну пружину, і далі – на індикатор, відхилення стрілки якого визначає зусилля, що діє на пружину.

Деформацію пружин визначають за допомогою масштабної лінійки 17 і шкали 18 на кронштейні. Точність вимірювання становить 0,1 мм.

Для випробування пружин розтягування кронштейн 6 переміщують і закріплюють у верхньому положенні. На гачки підвішують пружину, та обертаючи маховичка злегка навантажують її (так, щоб відхилення стрілки індикатора не перевищувало 3-5 поділок). Фіксують на масштабній лінійці показання, а потім навантажують пружину заданим зусиллям (за показанням стрілки індикатора) та визначають осадку λ_e , фіксуючи зміну показань масштабної лінійки та ноніуса.

Збільшуючи навантаження F , та визначаючи відповідну деформацію λ_e , складають таблицю та будують графік.

Для випробування пружин стискання, кронштейн опускають у нижнє положення, пружину встановлюють на опорах. Випробування проводиться аналогічно до того, що описано раніше. Єдина принципова відмінність полягає в тому, що перед початком випробувань визначають значення максимальної осадки пружини λ_{max} , та максимальну величину зусилля F_{max} , до якого може бути навантажено цю пружину.

Порядок оформлення звіту щодо виконаної роботи, можна подивитися в розділі «виконання роботи».

□ При використанні числової моделі гвинтової пружини

1. Підготовка проекту .

1.1. Підготовка робочої директорії (папки) для зберігання файлів лабораторної роботи.

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

Пуск → Програми → AnsysWorkbench → Save as → папка, ім'я

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

1.3. Вибрати систему одиниць виміру – систему СІ (рис.5).

Main menu → Units → Metric

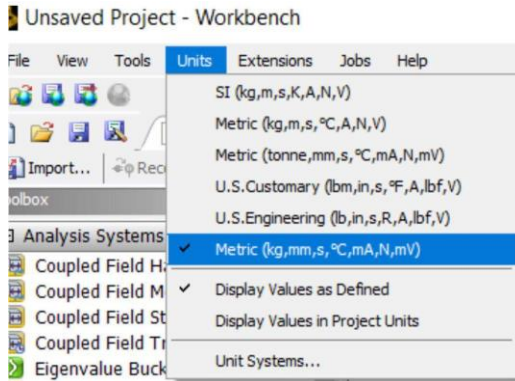


Рис. 5. Вибір системи одиниць виміру

1.4. Вибір типу аналізу.

Toolbox → Analysis system → Static 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*** – задання 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 впливаючому 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.6).

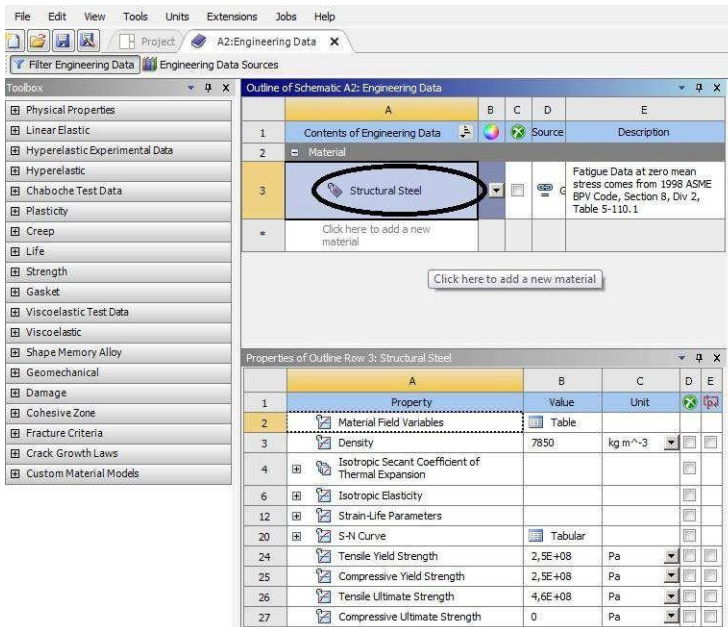


Рис. 6. Вікно аналізу *Engineering Data*

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

Main menu → View → Reset → Workspace

Повернення до меню проекту:

Main menu → Return to Project

На наступному етапі можна за завданням викладача або завантажити модель пружини (рис.7), або побудувати її самостійно. Після імпорту геометричної моделі потрібно перейти до п.4. Порядок побудови моделі пружини в *Design Modeler* наведено в п.3.

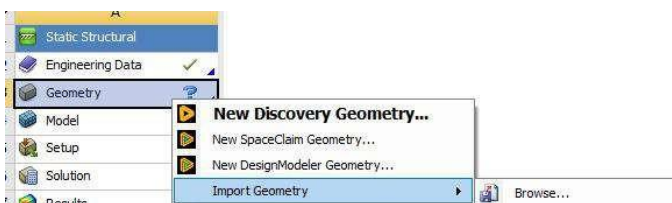


Рис. 7. Завантаження моделі пружини

3. Побудова геометричної моделі.

3.1. Активізація вікна підпрограми **Design Modeler**, в якому відбувається побудова геометричної моделі (рис.8):

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

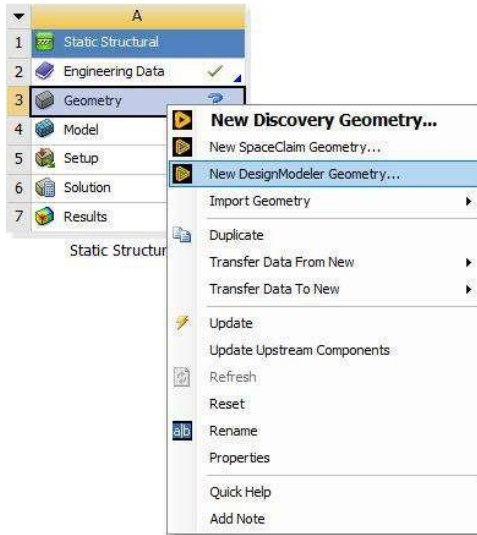


Рис. 8. Активізація вікна підпрограми **Design Modeler**

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 (**Sketches**).


3.3. Розглянемо побудову ескізу пружини.

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

3.3.2. Створюємо новий ескіз **Sketch1**.

Main menu → **Newsketch**

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

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

3.3.4. Побудова кола із розміром, який наближений до зовнішнього діаметра проволочки пружини:

Main menu → **Treeoutline** → **Sketching** → **Draw** → **Circle**

3.3.5. Виставляємо виноски розмірів:

Sketching → **Dimensions** → **General**

Виносимо стрілки розмірів. Їх точні значення проставляємо у вікні **Details View**. D - діаметр проволочки пружини, H – середній діаметр пружини (рис.9).

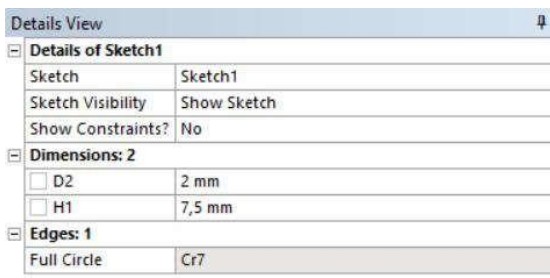


Рис.9. **Details View**. Розміри пружини

3.3.6. Повертаємось в режим моделювання **Modeling**. Створюємо новий ескіз **Sketch2** (рис.10).

Main menu → **Newsketch**

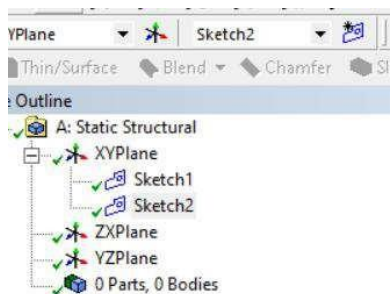


Рис. 10. Створення нового ескізу

3.4. Побудова осі пружини (рис.11). Повертаємось в режим креслення.

Main menu → **Treeoutline** → **Sketching** → **Draw** → **Line**

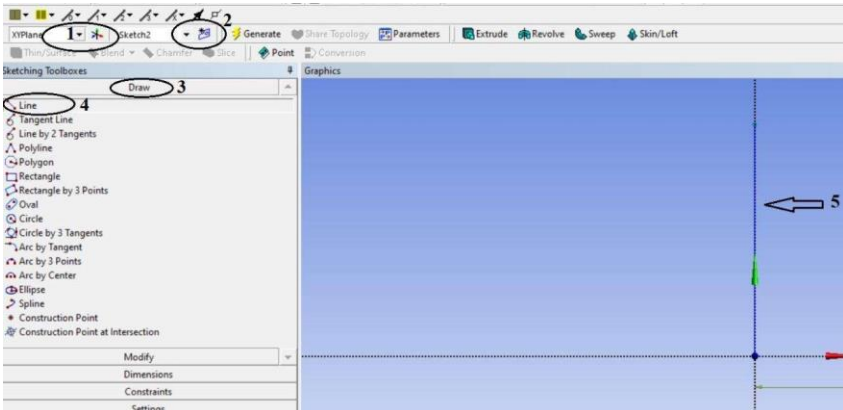


Рис. 11. Побудова осі пружини

3.5. Виставляємо виноски розмірів:

Sketching → **Dimensions** → **General**

Розмір відповідає висоті пружини в недеформованому стані.

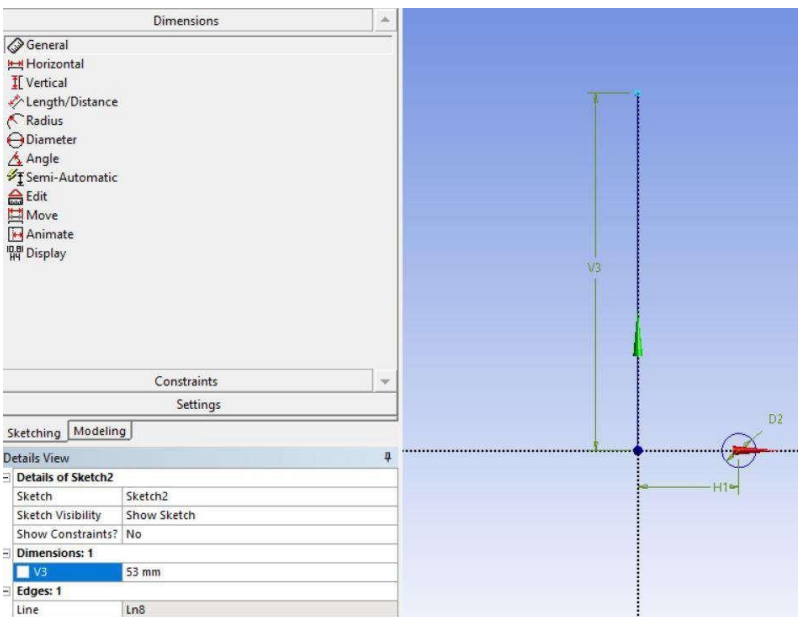


Рис. 12. Простановка розмірів V_3 – висота пружини

Повертаємось в режим моделювання **Modeling**.

На панелі меню вибираємо кнопку *Sweep* (рис. 13) для побудови ескізу пружини, а у вікні *Details View* задаємо параметри побудови. Лінійне видавлювання

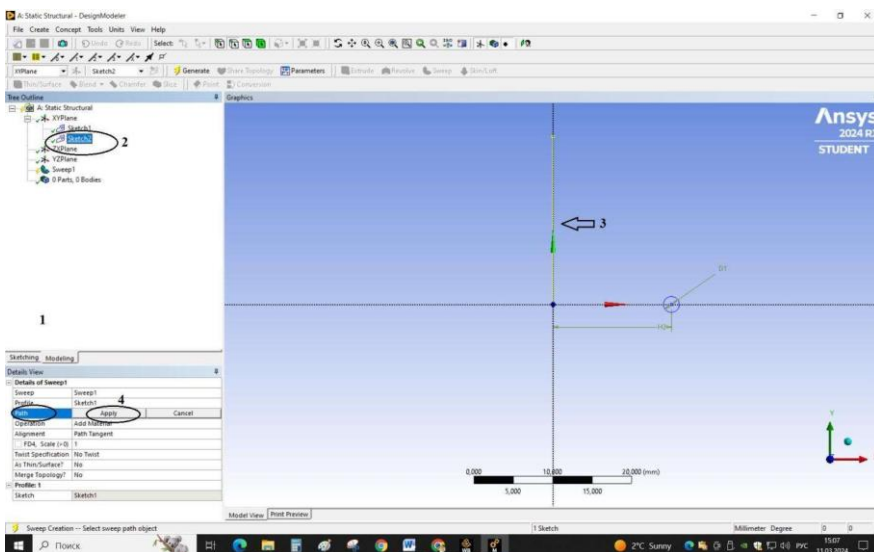


Рис. 13. Операція *Sweep*

Протяжка уздовж контуру *Sweep* дозволяє отримати об'єм шляхом переміщення базового ескізу уздовж напрямної кривої.

Основні параметри команди: *Profile* – базовий ескіз для створення об'єму; *Path* – ескіз з направляючою кривою; *Alignment* – спосіб вирівнювання контуру базового ескізу по відношенню до напрямної кривої. За замовчуванням задається як *Path Tangent* – контур зберігає первісну орієнтацію по відношенню до напрямної кривої. Значення *Global Axis* зберігає орієнтацію контуру щодо осей координат; *Scale* – масштабний коефіцієнт. Дозволяє масштабувати контур базового ескізу в кінці направляючої кривої; *Twist Specification* – параметр, що дозволяє задавати опції при повороті контуру базового ескізу навколо направляючої кривої. За замовчуванням даний параметр відключений (No Twist). Він може приймати значення *Turns* – в цьому випадку задається число обертів навколо направляючої кривої або *Pitch* – задається довжина шляху, пройденого контуром при повороті. Значення для *Turns* та *Pitch* можуть бути негативними – це означає поворот за годинниковою стрілкою.

Необхідно відзначити, що контур і спрямовуюча крива повинні перебувати в різних ескізах. Базовий ескіз може містити скільки завгодно як контурів (у тому числі і незамкнених), так і окремі точки. Напрямна крива мо-

же бути замкнутою, але вона обов'язково має бути єдиним контуром в ескізі.

В нашому випадку **Profile** – базовий ескіз для створення об'єму **Sketch1**, **Path** – ескіз з направляючою кривою це **Sketch2**.

Вікні **Details View** задаємо параметри пружини. Крок (**Pitch**) 4 мм, масштабний коефіцієнт (**Scale**) 1.

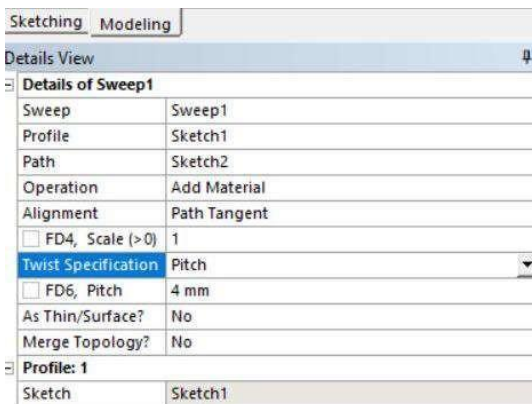


Рис. 14. Параметри пружини. Крок.

Generate – фіксуємо всі зміни при побудові частини моделі. Одержуємо тривимірну модель пружини. (рис. 15).

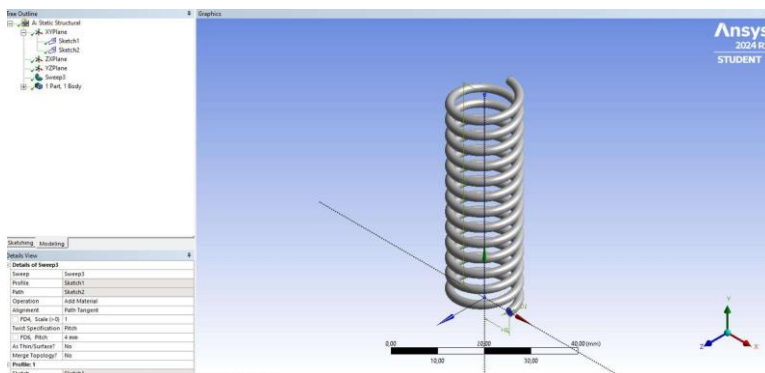


Рис. 15. Тривимірна модель пружини.

4. Повертаємось в головне меню та обираємо пункт **Model**

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.

4.1.1. Створення СЕ-сітки.

4.1.2. Автоматична побудова СЕ – сітки:

Outline → Mesh → Generate mesh



4.2. Для того, щоб задати граничні умови, обираємо

Outline → Static Structural

В стрічці з'являються пункти: *Inertia* («Сили інерції»), *Loads* («Навантаження»), *Supports* («Обмеження»).

Задаємо варіант жорсткого закріплення нижньої поверхні пружини:

Main menu → Static Structural → Supports → Fixed supports

Використовуючи клавішу *Ctrl* та *Face Element*  відділяємо поверхню для закріплення. Для повороту, збільшення-зменшення використовують кнопки .

При виділенні елементи зеленого кольору, після виконання команди стають фіолетового кольору (рис.16).

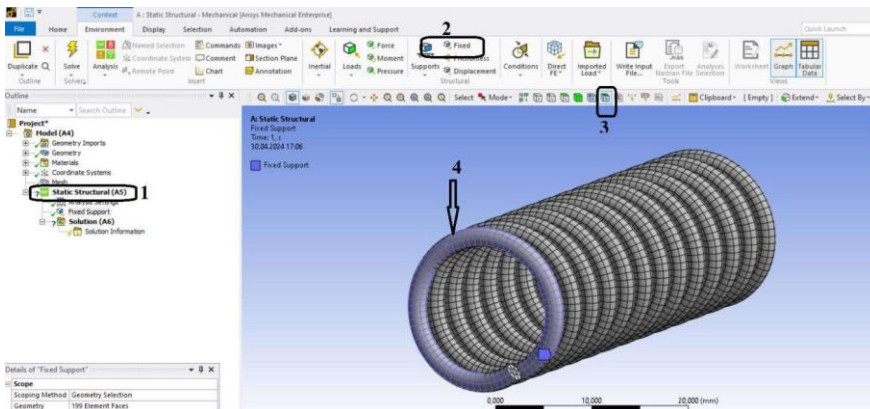


Рис. 16. Завдання жорсткого закріплення

4.3. Для завдання навантаження валу справа поздовжньою силою необхідно обрати:

Main menu → Static Structural → Loads → Force

Обираємо необхідну поверхню зверху, задаємо поздовжню силу за її компонентами. Після виконання команди поверхня стає іншого кольору (рис.17).

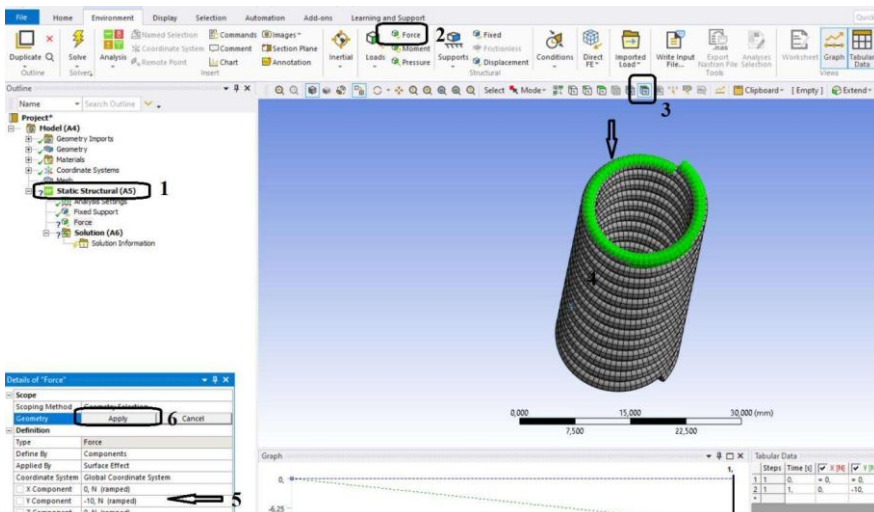


Рис. 17. Завдання навантаження

Модель готова до розрахунків. Натискаємо **Save** – зберігання готового проекту.

4.4. Вибір параметрів розрахунку:

Outline → Solution

З'являються пункти параметрів розрахунку: **Deformation** («Переміщення»), **Stress** («Напруження») та інші (рис.18, 19).

Обираємо **Stress Shear**, у вікні параметрів (**Details of ...**) обираємо **XY component** «Дотичні напруження в площині XY»; **Deformation Total** «Сумарні переміщення» (рис.17).

Outline → Solution (A6) → Insert → Stress → Shear

Outline → Solution (A6) → Insert → Deformation → Total

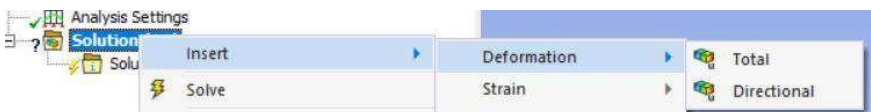


Рис. 18. Вибір параметрів розрахунку **Deformation**

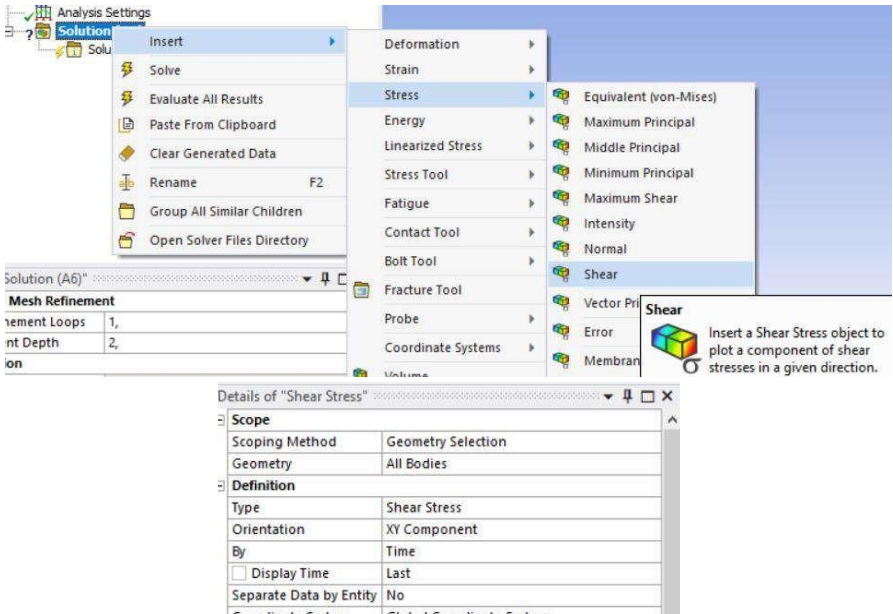


Рис. 19. Вибір параметрів розрахунку *Stress Shear*

4.5. Натискаємо кнопку *Solve* («Розрахувати»).

4.6. Після розрахунку будуть наведені поля результатів.

Записуємо результати в таблицю.

Натискаємо кнопку *Solve* («Розрахувати»). Отриманий результат (рис.20) записуємо в таблицю.

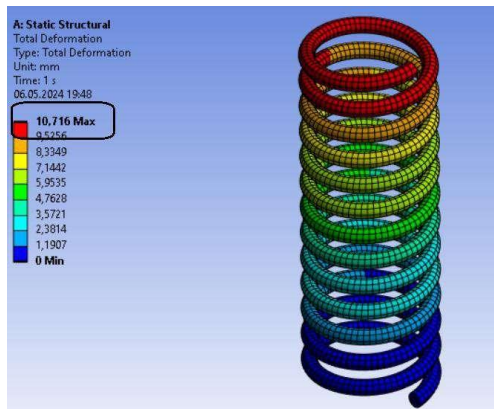


Рис. 20. Результат розрахунків. Переміщення

Можемо переходити до наступного значення навантаження.

Повертаємось до п. 4.3 та задаємо наступне за кроком навантаження.

Main menu → Static Structural → Loads → Force

4.7 Для перерахунку результатів переходимо до *Solution (A6)* (рис.21).

Outline → Solution (A6) → Evaluate All Results

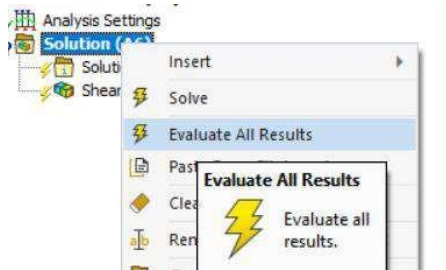


Рис. 21. Перерахунок результатів

Отримані результати заносимо в таблицю. Операцію повторюємо для всіх заданих викладачем значень навантажень. По закінченню розрахунків будемо графік.

Контрольні запитання

Слід дати відповіді на такі питання:

1. Яких деформацій зазнає виток пружини під дією крутного моменту і поперечної сили?
2. Які напруження виникають у поперечному перерізі витка пружини?
3. Як вони визначаються?
4. Який можна зробити висновок, аналізуючи формули (1) та (2)?
5. Чому пружини стискання набули широкого поширення в техніці?
6. Чи можна експериментально збудувати характеристику пружини? Якщо так, то як це слід зробити?
7. Коли напруження у пружині стискання досягнуть максимальної величини?
8. Як визначити максимально можливі напруження в пружині стискання, використовуючи графік залежності осадки пружини від навантаження, і знаючи геометричні параметри пружини?

Література

1. **Опір матеріалів:** Підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; За ред. Г. С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк. 2004. 655с.
2. **Опір матеріалів:** навчально-методичний посібник для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання; Держ. біотехн. ун-т; уклад. М. В. Сліпченко, О. І. Алфьоров, В. Б. Савченко, О. А. Свіргун. Харків: [б. в.], 2023. 152 с.
3. **Основи ANSYS.** Лабораторний практикум : навч. посіб. / В. М. Грищенко, О. А. Свіргун, Є. І. Калінін, В. Б. Савченко. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 168с.
4. Довбуш Т. А. **Опір матеріалів:** навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т. А. Довбуш, Н. І. Хомик, А. В. Бабій, Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 220 с.
5. **Механіка матеріалів і конструкцій.** Лабораторні роботи: Навчальний посібник для вузів / І.А. Цурпал, С.І. Пастушенко, М.П. Барабан, В.М. Швайко. – 3є вид. перероб. і допов. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 272 с.

Навчальне видання

**ОПІР МАТЕРІАЛІВ.
ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ
ГВИНТОВОЇ ПРУЖИНИ**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Опір матеріалів»
та «Механіка матеріалів і конструкцій»

Автори-укладачі:

МАРЧЕНКО Михайло Валентинович
САВЧЕНКО Володимир Борисович
СВІРГУН Ольга Анатоліївна
ІВАНОВ Володимир Іванович

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір для цифрового друку. Друк принтерний.
Умов. друк. арк. 1,0
Наклад 30 примірників.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44