

# СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## «Аналітична механіка та міцність машин»



<b>Ступінь освіти</b>	доктор філософії
<b>Освітньо-наукова програма</b>	Галузеве машинобудування
<b>Тривалість викладання</b>	3,4-й семестр (5, 6, 7 чверть)
<b>Заняття:</b>	3,4-й семестр
лекції	2 години
практ. заняття	1 година
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Кафедра, що викладає</b>	Інжинірингу та дизайну в машинобудуванні

Сторінка курсу в СДО НТУ «ДП»

<https://do.nmu.org.ua/course/view.php?id=5853>

Кафедра, що викладає: **Інжинірингу та дизайну в машинобудуванні**

### Інформація про викладачів:



**Заболотний Костянтин (лекції)**

Доктор технічних наук, професор

**Персональна сторінка:**

<http://gmi.nmu.org.ua/ua/kadrj/zabolotniy.php>

**E-mail:** zabolotnyi.k.s@nmu.one



**Жупієв Олександр (практичні заняття)**

старший викладач

**Персональна сторінка:**

<https://gmi.nmu.org.ua/ua/kadrj/zhupiev.php>

**E-mail:** zhupiev.o.l@nmu.one

### 1. Анотація до курсу

Для того щоб орієнтуватися світі техніки, що в безперервно оновлюється, фахівець з проектування та конструювання машин, повинен мати спеціальну підготовку в області моделювання матеріальних об'єктів, методів аналітичної механіки, механіки деформованого твердого тіла, теорії пружності і пластичності.

### 2. Мета навчальної дисципліни

**Мета дисципліни** – навчити розробляти і реалізовувати комплексні математичні моделі технічних об'єктів галузевого машинобудування,

проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення

### **Завдання курсу:**

Навчити аспіранта, використовуючи методи аналітичної механіки, скласти диференціальні рівняння руху будь-механічної системи, а на основі знань опору матеріалів, теорії пружності та пластичності, розраховувати конструкції на міцність, жорсткість і стійкість, визначати раціональні параметри технічних об'єктів галузевого машинобудування.

### **3. Результати навчання**

Розробляти і реалізовувати комплексні математичні моделі технічних об'єктів галузевого машинобудування використовуючи методи аналітичної механіки, опору матеріалів, теорії пружності та пластичності

### **4. Структура курсу**

1. ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ МЕХАНІКИ. Основні поняття і принципи аналітичної статичної й динаміки. Механічні в'язі і їх класифікація. Можливі переміщення. Можлива робота. Ідеальні в'язі. Принцип можливих переміщень.

2. Загальне рівняння динаміки. Рівняння рівноваги і руху механічної системи в узагальнених координатах. Число степенів вільності. Узагальнені координати й узагальнені швидкості. Узагальнені сили і способи їх визначення. Рівняння рівноваги механічної системи в узагальнених координатах.

3. Диференціальні рівняння руху механічної системи узагальнених координатах -рівняння Лагранжа другого роду. Рівняння Лагранжа другого роду для консервативних систем. Методика розв'язання задач динаміки з використанням рівнянь Лагранжа другого роду.

4. МАЛІ КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ЗІ СКІНЧЕНИМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНІВ ВІЛЬНОСТІ. Малі коливання механічної системи навколо положення її стійкої рівноваги. Визначення положень рівноваги.

Стойкість положення рівноваги. Визначення стійкості положення рівноваги консервативної системи. Теорема Лагранжа - Діріхле. Критерій Сільвестра.

Виразення кінетичної енергії системи через узагальнені координати й швидкості. Малі коливання консервативної системи з одним ступенем вільності

навколо положення стійкої рівноваги. Вплив сил опору на малі коливання консервативної системи з одним ступенем вільності навколо положення стійкої

рівноваги. Малі вимушені коливання механічної системи з одним ступенем вільності навколо положення стійкої рівноваги. Випадок довільної збурюючої сили.

Випадок гармонійної збурюючої сили

Коефіцієнт динамічності при дії гармонійної збурюючої сили. Малі коливання механічних систем зі скінченим числом степенів вільності навколо положення

стійкої рівноваги. Вільні коливання консервативної системи з двома ступенями вільності. Вимушені коливання системи з двома ступенями вільності.

Динамічний гаситель коливань. Коливання систем зі скінченним числом степенів вільності. Методи захисту від вібрацій.

5. МАЛІ КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ. Поздовжні коливання прямих стержнів (балок). Диференціальне рівняння руху елемента стержня при вільних коливаннях. Розв'язання диференціального рівняння вільних поздовжніх коливань стержня. Граничні умови. Приклади розрахунку поздовжніх коливань пружного стержня. Поперечні коливання прямих стержнів (балок). Диференціальне рівняння руху елемента стержня. Розв'язання диференціального рівняння вільних поперечних коливань стержня. Граничні умови. Приклад розрахунку власних частот і форм поперечних коливань пружного стержня. Вимушені поперечні коливання стержня. Наближені методи визначення власних частот поперечних коливань стержнів. Метод Релея (енергетичний метод). Метод Донкерлі (метод «зведення» мас). Приклад розрахунку основної частоти поперечних коливань стержня з приєднаними масами. Вільні коливання пружних пластин і оболонок. Вільні поперечні коливання пластини. Поперечні коливання пластини з шарнірно (вільно) обпертими краями. Вільні коливання колової циліндричної оболонки з вільно (шарнірно) обпертими торцями.

6. ОСНОВИ ТЕОРІЇ УДАРУ. Елементарна теорія удару. Основні визначення і рівняння теорії удару матеріальної точки. Гіпотеза Ньютона про коефіцієнт відновлення при ударі. Загальні теореми теорії удару механічної системи. Теорема про зміну кількості руху механічної системи при ударі. Теорема про зміну моменту кількості руху механічної системи при ударі. Теорема про зміну кінетичної енергії механічної системи при ударі (теорема Карно). Поняття про центр удару

7. Основи теорії напруженого та деформованого стану. Визначення понять «міцність», «жорсткість», «стійкість».

Гіпотези щодо властивостей матеріалів. Класифікація зовнішніх сил. Гіпотези щодо характеру деформацій. Форми об'єктів вивчення. Внутрішні сили. Метод перерізів. Загальний і часткові випадки напруженого стану елементів конструкцій. Деформації та напруження. Розтягання і стискання Характер зовнішніх сил, які спричиняють розтягання прямого бруса. Внутрішні сили, напруження та деформації. Закон Гука. Модуль Юнга. Умови міцності за нормальних напружень. Коефіцієнт поперечної деформації. Експериментальне вивчення властивостей матеріалів. Діаграма розтягання. Діаграма стискання. Допустимі напруження. Коефіцієнт запасу міцності. Типи розрахунків стрижнів на міцність: перевірний, проектний, визначення вантажопідйомності. Статично невизначувані конструкції та задачі. Типи статично невизначуваних задач за умовами сумісності переміщень. Температурні та монтажні напруження. Властивості статично невизначуваних систем.

8. Деформації зсуву і кручення. Геометричні характеристики плоских перерізів. Статичні моменти площин. Центр ваги перерізу складної форми. Моменти інерції плоских фігур: осьові, відцентрові, полярні. Моменти інерції відносно паралельних осей. Залежність між моментами інерції за повороту координатних осей. Головні осі інерції. Властивості головних осей інерції. Зсув

Характер зовнішніх сил, які спричиняють деформацію зсуву. Внутрішні сили, напруження та деформації. Розрахунок заклепочних з'єднань на зсув, зминання та розрив. Гіпотези, покладені в основу розрахунків. Умови міцності за напруженнями зсуву. Кручення. Характер зовнішніх сил, які спричиняють деформацію кручення бруса. Внутрішні силові фактори, напруження та деформації. Формули для визначення дотичних напружень і кутів закручування. Розрахунок міцності та жорсткості валів. Раціональні форми перерізів валів. Деформація згинання. Основні поняття. Види опор балок та їх реакції. Характер зовнішніх сил, які спричиняють згинання прямого бруса. Внутрішні силові фактори. Правила знаків для визначення перерізувальних сил та згинальних моментів. Диференційні залежності між розподіленим навантаженням, перерізувальними силами та згинальними моментами під час згинання. Побудова епюр поперечних сил і згинальних моментів у перерізах балки. Нормальні напруження за чистого згинання бруса. Умови міцності за нормальних напружень. Раціональні форми перерізів балки. Дотичні напруження за 5 згинання. Формула Журавського. Умови міцності за дотичних напружень. Розподіл нормальних і дотичних напружень у балках із прямокутним і двотавровим перерізами. Диференційне рівняння зігнутої осі балки. Визначення прогину та кута повороту перерізу балки. Визначення переміщень у балках за методом безпосереднього інтегрування

9. Визначення переміщень у балках за методом початкових параметрів. Умови жорсткості. Розрахунок статично невизначуваних балок. Складний опір. Стійкість стиснутих стрижнів Складний опір Згинання з розтяганням (стисканням) прямого бруса. Нормальні напруження в довільній точці перерізу під дією поздовжнього та поперечного навантаження. Позацентрове розтягання (стискання) прямого бруса. Характер зовнішніх сил, які спричиняють деформацію розтягання із стисненням. Внутрішні сили та напруження в довільній точці перерізу. Рівняння нейтральної лінії. Умови міцності. Ядро перерізу. Згинання з крутінням. Характер зовнішніх сил, які спричиняють деформацію згинання з крученням прямого бруса. Внутрішні силові фактори, епюри напружень. Напруження в довільній точці перерізу. Умови міцності за третьою та четвертою теоріями міцності. Визначення зведених моментів. Приклад розрахунку вала на згинання з крутінням. Косий згин. Характер зовнішніх сил, які спричиняють деформацію косого згину. Внутрішні силові фактори. Епюри поперечних сил і згинальних моментів у вертикальній та горизонтальних площинах. Нормальні напруження в довільній точці перерізу. Рівняння нейтральної лінії. Умови міцності за нормальних напружень. Повний прогин перерізу. Умова жорсткості. Стійкість стиснутих стрижнів Стійка та нестійка пружна рівновага. Визначення стійкості. Приклади втрати стійкості брусом, пластиною, оболонкою. Актуальність розрахунків на стійкість. Умова стійкості. Формула Ейлера для визначення критичної сили стиснутого стрижня. Вплив умов закріплення кінців стрижня на значення критичної сили. Поняття про втрату стійкості за напружень, що перевищують межу пропорційності. Розрахунки на стійкість (приклад). Добір матеріалів і раціональних форм поперечних перерізів для стиснутих стрижнів.

10. Загальні теореми пружних систем. Метод сил. Загальні методи визначення переміщень. Узагальнені сили і переміщення. Робота зовнішніх сил. Робота внутрішніх сил. Теореми взаємності робіт і переміщень. Загальна формула для визначення переміщень у пружних б системах. Метод Мора. Потенціальна енергія деформації. Теорема Кастільяно. Приклади застосування загальних теорем пружних систем. Статично невизначувані системи. Метод сил. Основні поняття та визначення. Етапи розрахунку статично невизначуваної системи. Основна система, еквівалентна система. Розрахунок статично невизначуваних балок. Канонічні рівняння методу сил. Головні коефіцієнти канонічних рівнянь. Приклади розрахунків статично невизначуваних рам. Основи теорії напруженого та деформованого стану. Критерії міцності. Основи теорії напруженого та деформованого стану Напруження в точці. Закон парності дотичних напружень. Головні площадки і головні напруження. Лінійний напружений стан. Плоский напружений стан. Пряма задача у плоскому напруженому стані. Зворотна задача у плоскому напруженому стані. Об'ємний напружений стан. Напруження на довільній площадці. Деформації за об'ємного напруженого стану. Узагальнений закон Гука. Потенційна енергія деформації. Критерії міцності Завдання теорій міцності. Поняття еквівалентних напружень. Перша, друга, третя та четверта теорії міцності. Поняття про нові теорії міцності

## **ПРАКТИЧІ ЗАНЯТТЯ**

### **АМММ 1 Методика та розв'язання задач аналітичної механіки та міцності машин**

АМММ 1.1 Методика та приклади розв'язання задач за допомогою принципу Д'Аламбера для системи матеріальних точок

АМММ 1.2 Методика та приклади розв'язання задач за допомогою загального рівняння динаміки.

АМММ 1.3 Методика та приклади розв'язання задач за допомогою принципу можливих переміщень. Застосування принципу можливих переміщень до визначення реакцій зв'язків

АМММ 1.4 Методика та приклади розв'язання задач за допомогою рівняння Лагранжа другого роду

АМММ 1.5 Приклади розв'язання задач на коливання системи

АМММ 1.6 Приклади застосування SOLIDWORKS SIMULATION

### **5. Технічне обладнання та програмне забезпечення**

На лекційних заняттях обов'язково мати з собою гаджети зі стільниковим інтернетом. Активованій акаунт університетської пошти (student.i.p.@nmu.one) на Офіс 365. Інстальовані на гаджетах програми для перегляду інтернет-сайтів, текстових документів. Інстальовані на гаджетах програми для перегляду pdf-файлів та djvu-файлів (наприклад, <https://get.adobe.com/ua/reader/>, <http://djvu.org/resources/>). Практичні роботи проводяться в комп'ютерному класі

## 6 Система оцінювання та вимоги

**6.1. Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти** за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90 – 100	відмінно
74-89	добре
60-73	задовільно
0-59	незадовільно

**6.2.** Здобувачі вищої освіти можуть отримати **підсумкову оцінку** з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів з поточного тестування та самостійної роботи складатиме не менше 60 балів.

Максимальне оцінювання

Теоретична частина	Практична робота	Бонус	Разом
	60		

**Теоретична частина** оцінюється за результатами здачі контрольної тестової роботи, яка містить 10 теоретичних завдань.

**Практичні роботи** оцінюються за результатами виконання індивідуального завдання та його захисту.

### 6.3. Критерії оцінювання теоретичної частини

**10 тестових завдань** з чотирма варіантами відповідей, **1** правильна відповідь оцінюється у **6 балів (разом 60 балів)**. Опитування за тестом проводиться з використанням технології Microsoft Forms Office 365.

### 6.4. Критерії оцінювання практичної роботи

**Практична робота** оцінюється в балах від 35 (максимальна оцінка) до 0 (мінімальна оцінка), максимальна оцінка за практичну роботу 35 балів. При цьому критерії оцінювання практичної роботи:

- **35 балів** – робота виконана повністю, вірно, оформлена згідно вимог до звіту;
- **30 бали** – робота виконана повністю, вірно, звіт з роботи містить відхилення від вимог до звіту;
- **20 бали** – робота виконана неповністю, суттєві відхилення від вимог до оформлення звіту;
- **10 бали** – робота виконана фрагментарно;

– **0 балів** – робота не виконана, звіт з роботи не представлений.

## **7 Політика курсу**

### **7.1. Політика щодо академічної доброчесності**

Академічна доброчесність здобувачів вищої освіти є важливою умовою для опанування результатами навчання за дисципліною і отримання задовільної оцінки з поточного та підсумкового контролів. Академічна доброчесність базується на засудженні практик списування (виконання письмових робіт із залученням зовнішніх джерел інформації, крім дозволених для використання), плагіату (відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства), фабрикації (вигадування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі). Політика щодо академічної доброчесності регламентується положенням "Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті "Дніпровська політехніка". <http://surl.li/alvis>.

У разі порушення здобувачем вищої освіти академічної доброчесності (списування, плагіат, фабрикація), робота оцінюється незадовільно та має бути виконана повторно. При цьому викладач залишає за собою право змінити тему завдання.

### **7.2. Комунікаційна політика**

Здобувачі вищої освіти повинні мати активовану університетську пошту.

Усі письмові запитання до викладачів стосовно курсу мають надсилатися на університетську електронну пошту.

### **7.3. Політика щодо перескладання**

Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

### **7.4 Політика щодо оскарження оцінювання**

Якщо здобувач вищої освіти не згоден з оцінюванням його знань, він може опротестувати виставлену викладачем оцінку у встановленому порядку.

### **7.5. Відвідування занять**

Для здобувачів вищої освіти денної форми відвідування занять є обов'язковим. Поважними причинами для неявки на заняття є хвороба, участь в університетських заходах, академічна мобільність, які необхідно підтверджувати документами. Про відсутність на занятті та причини відсутності здобувач вищої освіти має повідомити викладача або особисто.

За об'єктивних причин (наприклад, міжнародна мобільність) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням з керівником курсу.

### **7.6. Бонуси**

Бонус призначається за додаткові знання здобувача, оформлені у вигляді реферату об'ємом не менше 10 сторінок.

Кінцева оцінка за курсом виставляється як сума балів, набраних здобувачем вищої освіти при виконанні теоретичних тестових завдань, індивідуального завдання

## **8 Рекомендовані джерела інформації**

1 Концепція підготовки інженерів у віртуальних технологіях SolidWorks: навчально-методичний посібник / П.І. Пілов, К.С. Заболотний, В.П. Франчук, О.В. Панченко ; М-во освіти і науки, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2009. – 35 с.

2 Аналітична механіка та міцність машин. Індивідуальні завдання для самостійної роботи аспірантів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» [Електронний ресурс] / К.С. Заболотний, О.В. Панченко. – Електрон. дан. – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 1 електрон. диск (CD-ROM). Систем. вимоги: ПК від 486 DX 66 МГц RAM 1616Мб; Windows 95,зв. плата. – Загол. з етикетки диска

3 Аналітична механіка та міцність машин. Методичні вказівки для самостійного опрацювання фахової літератури аспірантам спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» [Електронний ресурс] / К.С. Заболотний, О.В. Панченко. – Електрон. дан. – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 1 електрон. диск (CD-ROM). Систем. вимоги: ПК від 486 DX 66 МГц RAM 1616Мб; Windows 95,зв. плата. – Загол. з етикетки диска

4 Аналітична механіка та міцність машин. Методичні рекомендації до практичних занять для аспірантів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / К.С. Заболотний, О.В. Панченко. – Електрон. дан. – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 1 електрон. диск (CD-ROM). Систем. вимоги: ПК від 486 DX 66 МГц RAM 1616Мб; Windows 95,зв. плата. – Загол. з етикетки диска