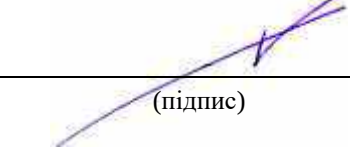


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


_____ Павло ГАКАЛ
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 29 » 08 2025 р.

**СИЛАБУС ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ (КІ)

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань:

G «Інженерія, виробництво та будівництво»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність:

G4 «Енерговиробництво (за спеціалізацією)»

G4.02 «Теплоенергетика»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма:

Інжиніринг та експлуатація теплоенергетичних систем

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:

Другий (магістерський)

(рівень освіти)

Силабус введено в дію з 01.09.2025

Харків 2025

Розробник

ст. викл. Євген МАРЦЕНЮК

(посада, науковий ступінь і вчене звання, ім'я та прізвище)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри

Конструкції авіаційних двигунів

(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 29 » серпня 2025.

Завідувач кафедри

д.т.н, професор

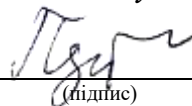
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)Сергій ЄПІФАНОВ

(ім'я та прізвище)

Погоджено

Представник здобувачів освіти «Авіаційні двигуни та енергетичні установки»


(підпис)Роман Петров

(ім'я та прізвище)

1 Загальна інформація про викладача



ПІБ: *Марценюк Євген Вікторович*

Посада: *старший викладач кафедри конструкції авіаційних двигунів*

Науковий ступінь: *немає*

Вчене звання: *немає*

Перелік дисциплін, які викладає:

Комп'ютерні технології розробки та виробництва авіаційних двигунів

САЕ-аналіз елементів АД і ЕУ

Комп'ютерно-інтегровані системи проєктування

Наземне використання авіаційних двигунів

Напрями наукових досліджень:

Моніторинг ресурсу двигунів

Контактна інформація:

y.martseniuk@khai.edu

2 Опис навчальної дисципліни

Форми здобуття освіти	<i>Денна</i>
Семестр	<i>1</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Тип дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Обсяг дисципліни	<i>2 кредити ЄКТС / 60 годин (32 аудиторних, з яких: практичні – 32; СРЗ – 28)</i>
Види навчальної діяльності	<i>Практичні (семінарські) заняття, самостійна робота</i>
Види контролю	<i>Поточний, модульний та семестровий контроль – диференційний залік</i>
Пререквізити	<i>Вища математика, Фізика, Теоретична механіка, Термодинаміка і теплообмін.</i>
Кореквізити	<i>Комп'ютерно-інтегровані системи проєктування</i>
Постреквізити	<i>Комп'ютерно-інтегровані системи проєктування, Моделювання та розрахунок процесів в енергетичних системах</i>

3 Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: придбання знань та умінь, необхідних для виконання інженерних розрахунків основних деталей авіаційного газотурбінного двигуна в програмному пакеті ANSYS.

Завдання: вивчення особливостей виконання інженерних розрахунків в програмному комплексі ANSYS.

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у професійній діяльності з розробки, виробництва та (або) сертифікації ракетно-космічної техніки, її двигунів та енергетичних установок, конструкцій і систем або у процесі навчання, які пов'язані з проведенням досліджень та/або здійснення інновацій і характеризуються невизначеністю умов і вимог

Загальні компетентності (ЗК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

ЗК2. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

ЗК3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

Спеціальні компетентності (СК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

СК1. Здатність застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.

СК13. Здатність аналізувати тепловий та теплонапружений стан деталей поршневих, газотурбінних двигунів та іншого енергетичного обладнання.

Програмні результати навчання (РН):

РН2. Аналізувати і обирати ефективні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи розв'язання складних задач теплоенергетики.

РН4. Відшуковувати необхідну інформацію з різних джерел, оцінювати, обробляти та аналізувати цю інформацію.

РН25. Аналізувати умови функціонування теплонапружених деталей, тепловий стан та термоміцність деталей в різних умовах функціонування.

4 Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовий модуль 1.

ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ

ТЕМА 1. Аналіз конструкції турбіни високого тиску (ТВТ) авіаційного газотурбінного двигуна та узагальненого польотного циклу двигуна-прототипа. Створення геометричної моделі диска ТВТ та його оточення.

- *Форма занять: практична робота, самостійна робота.*
- *Практичні роботи: «Створення геометричної моделі диска ТВТ та його оточення».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): програмне забезпечення ANSYS, повздовжній переріз, технічні характеристики та призначення двигуна-прототипу.*

ТЕМА 2. Призначення матеріалу диска, визначення його фізичних властивостей.

- *Форма занять: практична робота, самостійна робота.*
- *Практичні роботи: «Моделі матеріалів диска ТВТ та його оточення».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): програмне забезпечення ANSYS, довідкові дані щодо властивостей матеріалів.*

ТЕМА 3. Визначення граничних умов теплообміну на всіх режимах роботи двигуна відповідно до узагальненого польотного циклу.

- *Форма занять: практична робота, самостійна робота.*
- *Практичні роботи: «Розрахунок граничних умов теплообміну на злітному режимі роботи двигуна», «Розрахунок граничних умов теплообміну на всіх режимах узагальненого польотного циклу».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): таблиця стандартної атмосфери, узагальнений польотний цикл, технічні характеристики двигуна.*

ТЕМА 4. Розрахунок теплового стану диска ТВТ: стаціонарний та нестаціонарний аналізи.

- *Форма занять: практична робота, самостійна робота.*
- *Практичні роботи: «Розрахунок теплового стану диска на злітному режимі – стаціонарна задача», «Розрахунок теплового стану диска в умовах узагальненого польотного циклу – нестаціонарна задача».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): програмне забезпечення ANSYS.*

ТЕМА 5. Розрахунок термонапруженого стану диска ТВТ: стаціонарний та нестаціонарний аналізи.

- *Форма занять: практична робота, самостійна робота.*
- *Практичні роботи: «Розрахунок напруженого та термонапруженого станів диска на злітному режимі – стаціонарна задача», «Розрахунок термонапруженого стану диска в умовах узагальненого польотного циклу –*

нестационарна задача».

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): програмне забезпечення ANSYS.*

Модульний контроль 1

5 Індивідуальне завдання

1. Навчальний план передбачає виконання в якості індивідуального завдання курсового проєкту «Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни високого тиску газотурбінного двигуна». Витрати часу на його виконання складають 36 годин за рахунок обсягу самостійної роботи. Результати виконання роботи студент подає у вигляді пояснювальної записки обсягом 20...30 сторінок.

Курсовий проєкт є самостійною роботою студента. Для керівництва, контролю та допомоги студенту призначається керівник курсового проєкту з числа викладачів.

Курсовий проєкт містить у собі створення розрахункової моделі диска турбіни високого тиску та його оточення, визначення граничних умов теплообміну, розрахунки теплового, напружено-деформованого та термонапруженого стану диска.

За бажанням студента та за згодою викладача завдання на курсовий проєкт може бути змінено у разі його відповідності до загального змісту даної дисципліни та збереженні обсягу й складності роботи.

Зміст курсового проєкту – базове завдання

1. Аналіз конструкції турбіни високого тиску (ТВТ) авіаційного газотурбінного двигуна та узагальненого польотного циклу двигуна-прототипа.
2. Створення геометричної моделі диска ТВТ та його оточення.
3. Призначення матеріалу диска, визначення його фізичних властивостей.
4. Визначення граничних умов теплообміну на всіх режимах роботи двигуна відповідно до узагальненого польотного циклу.
5. Розрахунок теплового стану диска ТВТ: стаціонарний та нестационарний аналізи.
6. Розрахунок напружено-деформованого стану диска ТВТ.
7. Розрахунок термонапруженого стану диска ТВТ: стаціонарний та нестационарний аналізи.

Проєкт виконують протягом першого-п'ятнадцятого тижнів першого семестру; на шістнадцятий тиждень призначений його прийом. Бали за курсовий проєкт нараховують згідно якості та своєчасності його виконання

6 Методи навчання

Основні форми навчання:

- практичні роботи;
- курсовий проєкт;
- самостійна робота студента;
- залік.

Проведення практичних занять базується на індивідуальному виконанні студентами розрахунків теплового, напружено-деформованого й термонапруженого

стану для деталей газотурбінних двигунів с подальшим аналізом і поясненням отриманих результатів.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції. Під час самостійної роботи студенти виконують курсовий проєкт.

7 Методи контролю

Поточний контроль: теоретичне опитування, *виконання курсового проєкту*;

модульний контроль: *захист курсового проєкту*;

підсумковий (семестровий) контроль: *диференційний залік*.

Складання модуля – на 16-му тижні 1-го семестру (один раз).

До складання модуля студент допускається за умови виконання всіх видів обов'язкових робіт, передбачених у модулі.

8 Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

8.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Змістовний модуль 1			
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0,5...1	16	8...16
Модульний контроль	28...44	1	28...44
Виконання і захист КП	24...40	1	24...40
Усього за семестр 1			60...100

Семестровий контроль (диференційний залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску. Допуск до заліку надається за умови виконання та успішного захисту курсового проєкту.

Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліку складається з трьох теоретичних запитань та одного практичного завдання. Питання по білетах розподілені таким чином:

8.2. Розподіл питань у білетах заліку

Семестр	1-й
Тип контролю	Диференційний залік
Теоретичні питання (<i>перше, друге, третє</i>)	Змістовий модуль 2
Четверте питання	Тематика курсового проєкту

Курсовий проєкт стосується аналізу термонапруженого стану диска турбіни в умовах польотного циклу і надається у вигляді полів температури та напруження у

перетині диску, а також у вигляді графіків зміни температури та напруження у критичних точках диску під час польоту. Наведені результати необхідно проаналізувати та сформулювати пропозиції щодо поліпшення термонапруженого стану конструкції.

Максимальна кількість балів за кожне теоретичне питання – 20, за практичне завдання – 40.

8.3. Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- основи методу кінцевих елементів;
- рекомендації щодо побудови якісної сітки кінцевих елементів;
- основні правила обмеження ступенів свободи та/або навантаження розрахункової моделі;
- принципи та порядок виконання різних типів інженерних розрахунків методом кінцевих елементів в програмному пакеті ANSYS;

вміти:

- створювати розрахункові моделі деталей і вузлів АД та ЕУ на базі балочних, оболонкових, тримірних елементів або їх комбінації для виконання інженерних розрахунків у програмному пакеті ANSYS;
- виконувати розрахунки двовимірною та тривимірною температурного та напруженого стану деталей із використанням відповідних програмних засобів;
- проводити частотний аналіз конструкції та аналіз на втрату стійкості;
- виконувати критичний аналіз отриманих результатів щодо їх достовірності, тобто теорії або реального фізичного експерименту;
- самостійно визначати в складній конструкції зони «інтересу» для проведення подальшого аналізу відповідно до поставленої задачі;
- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій, пропонувати шляхи їх вдосконалення за результатами виконаних розрахунків.

8.4. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні заняття. Виконати та захистити індивідуальне завдання (курсовий проєкт). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати, які типи інженерних задач можуть бути вирішені програмними продуктами на базі методу кінцевих елементів. Знати основну ідею методу кінцевих елементів. Розуміти різницю між елементами та вузлами. Орієнтуватися у інтерфейсі програмного продукту ANSYS та вміти пояснити, для чого призначені різні вікна та різні процесори програми. Бути спроможним виконувати прості міцнісні та теплові розрахунки окремих деталей типу балка або пластина за допомогою рекомендацій з навчальних посібників.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні заняття. Виконати та добре захистити індивідуальне

завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати хто або що сприяв розвиненню метода кінцевих елементів. Знати чим відрізняються елементи першого та другого порядків. Вміти самостійно налагоджувати прості моделі (типу балки, пластини тощо) до виконання усіх типів стаціонарних розрахунків, розглянутих у змістових модулях. Бути спроможним надавати оцінку вірності отриманих результатів – чи не протирічають вони теорії. Знати, що призводить до появи помилок у результатах розрахунків та розуміти їхнє чисельне співвідношення.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре» і кількістю балів не менше 80). Повно знати основний та додатковий матеріал. Вміти робити вибір між елементами першого та другого порядків в залежності від отриманої задачі. Вміти самостійно налагоджувати складні моделі, у тому числі і складових вузлів з декількох окремих деталей, до виконання усіх типів стаціонарних та нестаціонарних розрахунків, розглянутих у змістових модулях. Розуміти різницю між окремими типами контактних граничних умов і вміти налагоджувати їх властивості. Вміти пояснювати та аналізувати отримані результати, розрізняти у них механічні та методологічні помилки підготовки розрахункової моделі. Пояснювати фізику симульованих процесів та пропонувати заходи з оптимізації моделі щодо її «полегшення», тобто зменшення часу на підготовку та розрахункового часу, а також щодо підвищення точності результатів симулювання.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	Для іспиту	Для заліку
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
01-59	Незадовільно	Не зараховано

9 Політика навчального процесу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Інтерактивний характер курсу передбачає обов'язкове відвідування практичних занять. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати практичні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити з викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені заняття мають бути відпрацьовані на найближчій консультації протягом тижня після їх пропуску. Відпрацювання занять здійснюється усно в формі співбесіди за питаннями, визначеними планом заняття. В окремих випадках дозволяється письмове відпрацювання пропущених занять шляхом виконання індивідуального письмового завдання.

Дотримання вимог академічної доброчесності здобувачами освіти під час вивчення навчальної дисципліни. Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі освіти мають дотримуватися загальноприйнятих морально-етичних норм і правил

поведінки, вимог академічної доброчесності, передбачених Положенням про академічну доброчесність Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/assets/files/polozhennya/polozhenlyu-a-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdt>). Очікується, що роботи здобувачів освіти будуть їх оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрики джерел, списування, втручання в роботу інших здобувачів освіти становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі здобувача освіти є підставою для її незарахування викладачем незалежно від масштабів плагіату чи обману. У разі виконання індивідуальної самостійної роботи до захисту допускаються реферати, які містять не менше 60 % оригінального тексту під час перевірки на плагіат, есе – 70 %.

Вирішення конфліктів. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, а також правила етичної поведінки регламентуються Кодексом етичної поведінки в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/ua/university/nonnativnaB-baza/ustanovchi-dokumenti/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10 Методичне забезпечення

1. <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1171>.
2. Моделювання нестационарного термонапруженого стану елементів ГТД [Текст] : навч. посіб: до курс. та дипл. проєктування / Є. В. Марценюк. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2022. – 88 с.
(http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Marcenuk_Modeluvanna.pdf).

11 Рекомендована література

Базова

1. ANSYS Mechanical User's Guide

Допоміжна

2. Опір матеріалів: підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський [та інші]. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк., 2004. – 655 с.

12 Інформаційні ресурси

1. Розрахункові та контрольні програми ПЕОМ: **ANSYS STUDENT** (<https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>).
2. Файли та інтернет ресурси довідкової системи програмного комплексу ANSYS.