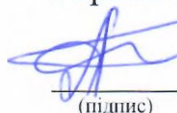


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

Л.Г.Бойко

(ініціали та прізвище)

« 31 » серпня 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Методи розрахунку та проектування лопатевих машин

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)


Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Газотурбінні установки і компресорні станції»
(найменування освітніх програм)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2024 рік

Розробник: Бойко Л.Г., професор каф. 201, д.т.н., професор 
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Теорії авіаційних двигунів (201)
(назва кафедри)

Протокол № 1 від «20» серпня 2024 р.

В.о завідувача кафедри к.т.н., доцент  О.В. Кіслов
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни. (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4.5	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> <small>(шифр та найменування)</small> Спеціальність <u>142 «Енергетичне машинобудування»</u> <small>(код та найменування)</small> Освітня програма <u>«Газотурбінні установки і компресорні станції»</u> <small>(найменування)</small> Рівень вищої освіти: <u>другий (магістерський)</u>	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2024/2025
Індивідуальне завдання: <i>PP Побудова ґратки профілів під заданий надкритичний режим роботи</i>		Семестр
Загальна кількість годин – ауд.-48, загальна -135		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3. год. самостійної роботи здобувача – 5,4 год.		Лекції ^{*)}
		24 год.
		Практичні ^{*)}
		24 год
		Лабораторні ^{*)}
	Самостійна робота	
	87 год.	
	Вид контролю	
	Модульний контроль, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
 $48/87=0,55$

¹⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до розрахунку та проектування лопатевих машин за допомогою чисельних методів розрахунку течії потоку газу в лопатевих машинах.

Завдання: надання знань про сучасні методи математичного моделювання газових потоків, класифікацію математичних моделей газового потоку, роль та місце математичних моделей різного рівня складності при проектуванні лопатевих машин.

Компетентності, які набуваються:

ЗК1 – здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК2 – здатність до проведення досліджень.

ЗК3 – здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК4 – здатність спілкуватися іноземною мовою в професійній сфері.

ЗК5 – здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК6 – здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК9 – здатність робити довгострокове планування та розробляти стратегію професійної діяльності.

ЗК10 – здатність вести професійну, у тому числі науково-дослідну діяльність у міжнародному середовищі.

ЗК13 – здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК14 – здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності.

ФК1 – здатність продемонструвати всебічні знання в галузі газотурбобудування та перспективи її розвитку.

ФК2 – здатність продемонструвати передові знання в газотурбобудуванні; енергозберігаючих технологіях; компресорних станціях.

ФК3 – здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення складних інженерних завдань з використанням спеціальних і загальнонавчаних методів.

ФК4 – здатність до систематичного вивчення та аналізу науково-технічної інформації, вітчизняного і закордонного досвіду з досягнень в галузі енергетичного машинобудування.

ФК5 – здатність аналізувати необхідну інформацію, технічні дані, показники та результати роботи, систематизувати їх і узагальнювати з метою покращення характеристик енергетичного і теплотехнологічного обладнання, створення нових технологій і модернізації виробництва.

ФК12 – здатність розробляти фізичні й математичні моделі процесів в енергетичному і технологічному обладнанні з аналізом результатів і розробкою методик розрахунку обладнання (шляхом порівняння з результатами експериментальних досліджень).

Очікувані результати навчання:

ПРН1 – знання і розуміння спеціальних розділів термодинаміки, теорії тепломасообміну, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції», на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньо-професійної програми.

ПРН2 – знання і розуміння інженерних дисциплін, що лежать в основі освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції», на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньо-професійної програми, в тому числі обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки в галузі.

ПРН3 – здатність критично осмислювати проблеми газотурбобудування і компресорних станцій, у тому числі на межі з іншими галузями, зокрема з інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою.

ПРН4 – здатність розуміти, аналізувати і використовувати у професійній діяльності інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції»; обирати і застосовувати аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; інтерпретувати і впроваджувати результати таких досліджень.

ПРН5 – здатність розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми газотурбобудування і компресорних станцій, що потребує оновлення та інтеграції знань, у тому числі в умовах неповної / недостатньої інформації та суперечливих вимог.

ПРН6 – здатність приймати рішення з інженерних питань газотурбобудування і компресорних станцій у складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням прогнозування та сучасних засобів підтримки прийняття рішень.

ПРН7 – здатність застосовувати свої знання і розуміння при розробці проектів згідно з визначеними та описаними вимогами.

ПРН8 – здатність розраховувати і проектувати вироби в галузі газотурбобудування і компресорних станцій, процеси і системи, що задовольняють встановленим вимогам, які включають обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосування адекватної методології проектування.

ПРН10 – здатність провадити дослідницьку та/або інноваційну діяльність в сфері газотурбобудування і компресорних станцій.

ПРН12 – здатність планувати і виконувати експериментальні дослідження та обробку отриманих результатів в сфері газотурбобудування і компресорних станцій за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів, обчислювальної техніки), робити висновки з використанням системного аналізу, синтезу та інших методів і надавати рекомендації щодо впровадження результатів дослідження.

ПРН13 – здатність використовувати сучасний інструментарій (створення, вибір і застосування відповідних технологій, ресурсів і інженерних методик,

включаючи прогнозування й моделювання) для проведення комплексної інженерної діяльності за освітньою програмою «Газотурбінні установки і компресорні станції».

ПРН14 – уміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань газотурбобудування і компресорних станцій.

ПРН16 – здатність зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки з проблем газотурбобудування і компресорних станцій, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються.

ПРН21 – здатність використовувати іноземні мови у професійній діяльності в галузі електричної інженерії і, зокрема, газотурбобудування і компресорних станцій.

ПРН23 – здатність до розуміння необхідності самостійного навчання протягом життя.

Пререквізити: математика, гідрогазодинаміка, термодинаміка, теорія і розрахунок лопатевих машин

Кореквізити: комп'ютерні системи проектування газотурбінних двигунів, газодинамічна нестійкість компресорів, науково-дослідницька робота магістрів, а також випускна робота магістра.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. Аналіз різноманіття підходів до розрахунку течії в турбомашинах

Вступ до навчальної дисципліни «Методи розрахунку та проектування лопаткових машин». Стадії розробки проектів газотурбінних двигунів в конструкторському бюро та використання для їх виконання розрахункових методів. Аналогії між розрахунковими методами в навчальних та реальних проектах.

Тема 1. Різноманітність підходів до розрахунку течії в турбомашинах. Класифікація методів за урахуванням властивостей течії та досліджуємого об'єкту

- а) стисливість;
- б) прояви в'язкості;
- в) нестационарність;
- г) вимірність (1,2,3-вимірні підходи).

Шляхи побудови математичних моделей течій у турбомашинах.

Тема 2. Постановка задачі розрахунку течії в лопатковій машині за середньомасовими параметрами. Основні рівняння. Вихідні дані. Результати розрахунку. Практичне використання.

Тема 3. Просторова течія. Шляхи її чисельного дослідження. Квазітривимірний підхід до моделювання просторової течії з застосуванням

двох класичних задач. Розрахунок вісьосимметричної течії та течії у гратках профілів у шарі змінної товщини.

Тема 4. Задача чисельного дослідження течії в гратці профілів турбомашини.

Система рівнянь. Граничні умови. Вихідні дані. Результати розрахунку, їх інтерпретація. Практичне застосування комплексу програм TRANSPS. Шляхи побудови суперкритичних профілів для застосування у сучасних авіаційних двигунах.

Змістовний модуль 2 Застосування рівнянь просторової в'язкої течії

Тема 5. Задача розрахунку вісьосимметричної течії в ступенях турбомашин. Постановка задачі. Основні рівняння. Граничні умови. Вихідні дані, одержувані результати та їх інтерпретація. Дослідження течії у багатоступневих компресорах за допомогою двовимірних методів розрахунку. Вихідні дані та результати, що можуть бути одержані. Застосування у практичних розрахунках багатоступневих компресорів.

Тема 6. Чисельні підходи до розв'язання диференційних рівнянь. Типи диференційних рівнянь другого порядку. Граничні умови. Методи наскрізного розрахунку.

Тема 7. Застосування рівнянь Навьє-Стокса для розрахунку течій у турбомашинах. Стисливі та нестисливі течії. Ламінарні та турбулентні течії. Їх моделювання. Застосування гіпотез турбулентності. Найпростіші гіпотези : гіпотеза Л. Прандтля. Підхід Л. Прандтля до обліку в'язких властивостей течії. Основні припущення про течію у примежовому шарі. Рівняння примежового шару. Уява про інтегральні товщини примежового шару. Застосування для розрахунку узагальнень експериментальних результатів дослідження течії у гратках профілів.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	пр	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1. Аналіз різноманіття підходів до розрахунку течії в турбомашинах					
Вступ до навчальної дисципліни Стадії розробки проектів газотурбінних двигунів в конструкторському бюро та використання для їх реалізації розрахункових методів	4	2	–	–	2
Тема 1. Різноманітність підходів до розрахунку течії в турбомашинах, їх класифікація	8	2	–	–	6
Тема 2. Постановка задачі розрахунку течії за середньомасовими параметрами	7	2	–	–	5
Тема 3. Застосування різноманітних методів урахування проявів в'язких властивостей Просторова течія, шляхи її чисельного дослідження	16	2	4	–	10
Тема 4. Задача чисельного дослідження течії у гратках профілів турбомашин. Суперкритичні профілі та шляхи їх побудови	44	2	12	–	30
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	79	10	16	–	53
Змістовний модуль 2. Особливості моделювання просторової течії					
Тема 5. Задача розрахункового дослідження вісьосиметричної течії у ізольованих ступенях та багатоступеневих компресорах	26	4	4	–	18
Тема 6. Чисельні підходи до розв'язання диференційних рівнянь	16	6	2	–	8
Тема 7. Просторова в'язка течія, шляхи її чисельного дослідження Застосування рівнянь Нав'є-Стокса для розрахунку течій у турбомашинах. Ламінарні та турбулентні течії. Застосування гіпотез турбулентності. Найпростіші гіпотези Основні припущення про течію у примежовому шарі. Рівняння примежового шару, інтегральні товщини	14	4	2	–	8
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 2	56	14	8	–	34
Усього годин	135	24	24	–	87

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Семінарські заняття не передбачені навчальним планом		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Чисельне дослідження трансзвукової течії у гратці профілів	12
2	Удосконалення форми профілю з метою зниження коефіцієнту втрат у гратці на надкритичних режимах	12
	Разом	24

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Лабораторні роботи не передбачені навчальним планом		

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Види гідравлічних втрат у гратці профілів компресорного ступеня та шляхи їх зниження	10
2	Характеристики ґраток профілів та їх експериментальне дослідження	12
3	Пряма та зворотня задача теорії турбомашин	12
4	Узагальнення результатів експериментальних досліджень течії у ґратках профілів, що застосовують у розрахунках вісьових ступенів та багатоступеневих компресорів	10
5	Методи розрахунку просторової течії в турбомашинах. Особливості їх використання. Граничні умови. Розрахункова сітка. Аналіз результатів. Похибки розрахунків	10
6	Різноманітні підходи до вивчення проявів в'язких властивостей течії	10
7	Рівняння примежового шару у диференційній та інтегрованій формах	12
8	Сучасні програмні продукти, що застосовують у розрахунках просторових в'язких течій. (FlowER, ANSYS-CFX, FLUENT, FLOWVISION)	11
	Разом	87

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми
1	РР. Побудова ґратки профілів під заданий надкритичний режим роботи

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, консультації, виконання розрахункової роботи, самостійна робота здобувачів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

На лекціях здобувачі отримують теоретичні знання, знайомляться з методами математичного моделювання та розрахунків течії в лопаткових машинах за допомогою підходів різного рівня складності. Ці знання є підставою для виконання практичних та розрахункової робіт.

Практичні роботи дають змогу навчитися застосуванню теоретичних положень курсу, користуванню пакетом програм для розрахунку трансзвукової течії в ґратках профілів, розробленому на кафедрі 201, TRANSPS та дослідити методи проектування ґратки профілів під особливості умов обтікання.

Самостійна робота дає змогу здобувачу систематизувати сукупність отриманих знань та закріпити їх.

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист практичних та розрахункової роботи, підсумковий контроль у вигляді іспиту.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Складання модульного контролю	0 – 50		0 – 50
Виконання та захист практичних робіт	0 – 5	2	0 – 10
Виконання та оформлення розрахункової роботи	0 – 20	1	0 – 20
Захист розрахункової роботи	0 – 10		0 – 10
Складання тези доповіді	0 – 10		0 – 10
Разом			0...100

Білет для іспиту складається з двох теоретичних та одного практичного запитання, за які здобувач може отримати відповідно 40,30 і 30 балів. Максимальна сума 100 балів.

Під час складання семестрового іспиту здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь з дисципліни, виконати практичні та розрахункову роботи, знати класифікацію методів розрахунку лопаткових машин та області їх практичного використання в процесі проектування.

Добре (75-89). Твердо знати основні теми курсу лекцій, виконати та захистити практичні та розрахункову роботи, вміти пояснювати прийняті рішення щодо вибору методу розрахунку, необхідної для його застосування інформації та очікуємих результатах.

Відмінно (90-100). Повно і досконало знати лекційний матеріал, знати особливості використання різних методів розрахунку при проектуванні лопаткових машин, виконати і аргументовано захистити практичні та розрахункову роботи, підготувати тези наукової роботи та зробити доповідь.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою
	Іспит
90 – 100	Відмінно
75 – 89	Добре
60 – 74	Задовільно
0 – 59	Незадовільно

13. Методичне забезпечення

1. Базові підручники та методичний посібник надані в п. 14 Рекомендована література. Програмний комплекс TRANS (учбова версія CASCADE) знаходиться у навчальному комп'ютерному класі кафедри 201.

2. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1897>

14. Рекомендована література

Базова

1. Теорія теплових двигунів. Підручник / Ю.М. Терещенко, Л.Г. Бойко, С.О. Дмитрієв та ін.; за ред. Ю.М. Терещенка. – К.: Вища шк., 2001. – 382 с.
2. Терещенко Ю.М., Бойко Л.Г., Мамлюк О.В. Газотурбінні двигуни літальних апаратів. Допущено Міністерством освіти і науки України. Підручник для студентів вищих закладів освіти. К.: Вища шк., 2000. 319с
3. Бойко А.В. / Аеродинамічний розрахунок та оптимальне проектування проточної частини турбомашин / А.В. Бойко, Ю.Н. Говорушенко, С.В. Єршов, А.В. Русанов, Северін. – Харків. – НТУ ХП. – 2002. – 355 с.
4. Dixon S. L. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. 5th Edition. Elsevier 1998, 379p.
5. Бойко Л.Г. Розрахунок до-, транс- і надзвукової течії у компресорних решітках профілів. Проектування компресорних решіток за допомогою чисельних методів [Текст] :навч. посібник / Л. Г. Бойко, О. Є. Дьомін., Н.В.Піжанкова - Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2024. – 67 с.

Допоміжна

1. Boyce M. Gas-turbines-Handbook. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2, SDP, UK, 2001, 936 p.
<https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20ENGINEERING%20HAND%20BOOK%20BY%20MEHERWAN%20P.%20BOYCE%20%282nd%20Edition%29>
2. Rolls Royce. The Jet Engine. Rolls Royce the Technical Publication Department. Derby England, 1996. 278 p.
<http://www.valentiniweb.com/piermo/meccanica/mat/Rolls%20Royce%20-%20The%20Jet%20Engine.pdf>
3. Бойко А.В. / Аеродинамічний розрахунок та оптимальне проектування проточної частини турбомашин / А.В. Бойко, Ю.Н. Говорущенко, С.В. Ершов, А.В. Русанов. Северін. – Харків. – НТУ ХПІ. – 2002. – 355 с.
4. Cumpsty N. A. Compressor Aerodynamics Krieger Pub. 2004. 517p.
5. Boyko L.G. Calculation and Design Methods of Turbomachinery [Electronic resource] : tutorial. Part 1. Numerical Study of Sub-, Trans- and Supersonic Flows in Compressor Blade Cascades / L. G. Boyko, A. E. Dyomin, K. V. Fesenko. – 2nd edition revised and enlarged. – Kharkiv : National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», 2021. – 57 p.
6. ANSYS CFX [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ansys.com/Products/fluid-dynamics/cfx>.
7. FlowVision [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://www.flowvision.ru/content/view/11/21/lang_russian.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>