

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

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Л.Г.Бойко
(підпис) (ініціали та прізвище)
« ____ » _____ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Методи розрахунку та проектування лопаткових 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)

(для здобувачів повного та скороченого терміну навчання)

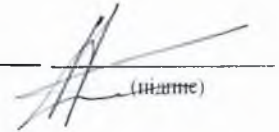
Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2021 рік

Розробник: Бойко Л.Г., зав. 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 « 31 » серпня 2021 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Л.Г. Бойко

(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 – 6,0	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування) Спеціальність <u>142 «Енергетичне машинобудування»</u> (код та найменування) Освітня програма <u>«Газотурбінні установки і компресорні станції»</u> (найменування) Рівень вищої освіти: <u>другий (магістерський)</u>	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2021/2022
Індивідуальне завдання: <i>РР Побудова ґратки профілів під заданий надкритичний режим роботи</i>		Семестр
Загальна кількість годин – 56/180		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,5 год. самостійної роботи здобувача – 7,75 год.		Лекції ^{*)}
		24 год.
		Практичні ^{*)}
		32 год.
		Лабораторні ^{*)}
	–	
	Самостійна робота	
	124 год.	
	Вид контролю	
	Модульний контроль, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
 $56/124=0,5$

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 лопаткових машинах.

Завдання: надання знань про сучасні методи математичного моделювання газових потоків, класифікацію математичних моделей газового потоку, роль та місце математичних моделей газового потоку 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.

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

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) стислість;
- 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 середньомассовими 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 ґратках профілів у шарі змінної товщини.

Тема 4. Задача чисельного дослідження течії в ґратці 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

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 багатоступеневих компресорах за допомогою двовимірних методів розрахунку. Вихідні дані та результати, що можуть бути одержані. Застосування у практичних розрахунках багатоступеневих компресорів.

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

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

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1					
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 середньомассовими параметрами	5	2	–	–	3
Тема 3. Просторова течія, шляхи її чисельного дослідження	18	2	6	–	10
Тема 4. Задача чисельного дослідження течії у ґратках профілів турбомашин. Суперкритичні профілі та шляхи їх побудови	46	2	14	–	30
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	81	10	20	–	51
Змістовний модуль 2					
Тема 5. Задача розрахункового дослідження вісьосиметричної течії у ізольованих ступенях та багатоступеневих компресорах	34	4	6	–	24
Тема 6. Чисельні підходи до розв'язання диференціальних рівнянь	34	6	4	–	24
Тема 7. Застосування різноманітних підходів до урахування проявів в'язких властивостей течії	31	4	2	–	25
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 2	99	14	12	–	73
Усього годин	180	24	32	–	124

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	20
2	Удосконалення форми профілю з метою зниження коефіцієнту втрат у гратці на надкритичних режимах	12
	Разом	32

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	16
3	Пряма та зворотня задача теорії турбомашин	20
4	Узагальнення результатів експериментальних досліджень течії у ґратках профілів, що застосовують у розрахунках вісьових ступенів та багатоступеневих компресорів	16
5	Методи розрахунку просторової течії в турбомашинах. Особливості їх використання. Граничні умови. Розрахункова сітка. Аналіз результатів. Похибки розрахунків	15
6	Різноманітні підходи до вивчення проявів в'язких властивостей течії	15
7	Рівняння примежового шару у диференційній та інтегрованій формах	15
8	Сучасні програмні продукти, що застосовують у розрахунках просторових в'язких течій. (FlowER, ANSYS-CFX, FLUENT, FLOWVISION)	17
	Разом	124

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 лабораторних та розрахункової робіт.

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

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

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист лабораторних та розрахункової робіт, 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 – 40	1	0 – 40
Робота на лекціях та лабораторних заняттях	–	–	0 – 10
Виконання та захист лабораторних 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 лабораторні 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 лабораторні 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 лабораторні 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. Холщевников К.В. / Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин. – М.: Машиностроение. – 1986. – 432с.

2. Сироткин Я.А. Аэродинамический расчет лопаток турбомашин / Я.А. Сироткин. – Л.: Машиностроение. – 1972. – 488 с.

3. Диксон С. Механика жидкостей и газов. Термодинамика турбомашин/ С. Диксон. – М.: Машиностроение. – 1972. – 488 с.

4. Гостелуу Дж. / Аэродинамика решеток турбомашин / Дж.Гостелуу. – М.: Мир. – 1987. – 392 с.

5. Жуковский М.И. Аэродинамический расчет потока в осевых турбомашинах /М.И. Жуковский. – Л.: Машиностроение. – 1967. – 287 с.

6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, ГРФМЛ. 1974. – 712 с.

7. Бойко А.В. / Аэродинамический расчет и оптимальное проектирование проточной части турбомашин / А.В. Бойко, Ю.Н. Говорущенко, С.В. Ершов, А.В. Русанов, Северин. – Харьков. – НТУ ХПИ. – 2002. – 355 с.

8. Бойко Л.Г., Демин А.Е. Методы расчета и проектирования лопаточных машин. Ч. 1. Численное исследование до-, транс- и сверхзвуковых течений в компрессорных решетках профилей. Уч. пособие. // Л.Г. Бойко, А.Е. Демин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – 2016. – 80 с.

9. Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика / Г.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

10. Самарский А.А. / Разностные схемы газовой динамики / А.А. Самарский, Ю.П. Попов. – М.: Наука, ГРФМЛ. – 1975. – 351 с.

Допоміжна

1. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей, К. Флетчер. – М.: Мир, ч. 2. – 1991. – 552 с.

2. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров / Н. Кампсти / Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 688 с.

3. Основы проектирования турбин авиадвигателей / А.В. Деревянко, В.А. Журавлев, В.В. Зикеев и др. Под ред. С. З. Копелева, М.: Машиностроение, 327 с.

4. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц. Вычислительный эксперимент. – М.: Наука. – 1982. – 392 с.

5. Дейч М.Е. Газодинамика решеток турбомашин / М.Е. Дейч. – М.: Энергоатомиздат. – 1996. – 528 с.

6. Бунимович А.И., Святогоров А.И. Обобщение результатов исследования плоских компрессорных решеток// Лопаточные машины и струйные аппараты. – М.: Машиностроение. – 1967. – Вып. 2. – С. 36-64.

7. Босман. Квазитрехмерные численные решения уравнений течения газа в турбомашинах /Босман, Эль-Шаарави // Тр. амер. общ. инж.-мех.: Сер. Теоретические основы инженерных расчетов. – 1977. – Т. 99. – № 1. – С. 232-241.

8. Дженнионс. Система квазитрехмерного проектирования лопаток турбомашин. Ч. 1. Расчет осредненного потока/ Дженнионс, Стоу // Тр. америк. общ. инж.-мех. Сер.: Энергетические машины и установки. – 1985. – Т. 107, № 2. – С. 34-40.

9. Кох, Смит. Источники и величины потерь в осевых компрессорах // Энергетические машины и установки. – 1976. – № 3. – С. 128-145.

10. ANSYS CFX [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ansys.com/Products/fluid-dynamics/cfx>.

11. FlowVision [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.flowvision.ru/content/view/11/21/lang_russian.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>