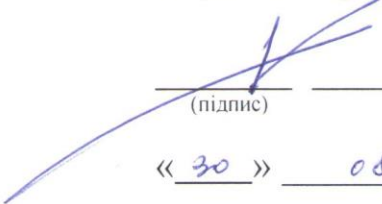


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник проектної групи


_____ П.Г. Гакал _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

« 30 » 08 2019 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Теорія і розрахунок лопаткових машин

(назва навчальної дисципліни)

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

Спеціальність: _____ 144 «Теплоенергетика» _____
(код та найменування спеціальності)

Освітні програми: _____ «Енергетичний менеджмент», _____
_____ «Комп'ютерні інтегровані технології проектування енергетичних систем», _____
_____ «Теплофізика» _____
(найменування освітніх програм)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2019 рік

Робоча програма Теорія і розрахунок лопаткових машин
(назва дисципліни)
 для студентів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»
 освітніх програм «Енергетичний менеджмент», «Комп'ютерні інтегровані
технології проектування енергетичних систем», «Теплофізика»
 « 28 » 08 2019 р., – 10 с.

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 № 201
«Теорії авіаційних двигунів»
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » 08 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Л.Г. Бойко
(ініціали та прізвище)

Робочу програму розглянуто на випусковій кафедрі № 205
«Аерокосмічної теплотехніки»
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » 08 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

П.Г. Гакал
(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	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування) Спеціальність <u>144 «Теплоенергетика»</u> (код та найменування) Освітні програми <u>«Енергетичний менеджмент»,</u> <u>«Комп’ютерні інтегровані технології проектування енергетичних систем»,</u> <u>«Теплофізика»</u> (найменування) Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	Цикл професійної підготовки (дисципліна за вибором студента)
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 3		2019/2020
Розрахункова робота «Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД»		Семестр
Загальна кількість годин – 120		5-й
		Лекції ¹⁾
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,3 год. самостійної роботи студента – 4,2 год.		45 год.
		Практичні¹⁾
		8 год.
		Лабораторні ¹⁾
	–	
	Самостійна робота	
	67 год.	
	Вид контролю	
	Модульний контроль, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 53/67.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: засвоєння студентами основних положень теорії лопаткових машин, одержання знань про схеми та принципи дії турбомашин різних типів.

Завдання: вивчення принципів дії лопаткових машин різних типів, основних рівнянь та співвідношень, що відображають газотермодинамічні процеси в проточних частинах лопаткових машин, ґратках профілів. Згідно фахових компетентностей вміти визначити, досліджувати і розв'язувати проблеми щодо проектування лопаткових машин у галузі теплоенергетики.

Міждисциплінарні зв'язки: фізика, технічна термодинаміка, гідрогазодинаміка, теорія робочих процесів теплових машин, теплотехнічні процеси і установки, конвертування авіаційних двигунів в енергетику, основи проектування теплонасосного обладнання та інші.

Результати навчання:

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати:**

- класифікацію, схеми та принцип дії лопаткових машин, основні визначення та вимоги щодо них;
- основні термогазодинамічні рівняння та співвідношення, що визначають процеси в лопаткових машинах;
- вимоги до вибору параметрів при виконанні розрахунків лопаткових машин;
- особливості течії у ґратках профілів на різних режимах; характеристики ґраток профілів при різних швидкостях течії;
- методи профілювання лопаток вісьового компресору та турбіни по радіусу;
- теоретичні та дійсні характеристики ступенів лопаткових машин;
- види втрат енергії в ступенях турбомашин;
- засоби зображення характеристик лопаткових машин в параметрах подібності;
- основи математичного моделювання процесів в лопаткових машинах;

вміти:

- застосовувати основні термогазодинамічні співвідношення для розрахунку та аналізу роботи лопаткових машин;
- оцінювати ефективність роботи лопаткової машини та її елементів в залежності від процесів, що в них мають місце;
- розв'язувати задачі визначення параметрів енергетично ізольованих процесів та процесів з обміном тепловою та механічною енергією;
- будувати графіки процесів в лопатковій машині та її елементах в ентропійній діаграмі;

- будувати та аналізувати плани швидкостей при різних значеннях кінематичних параметрах та ступенях реактивності;
- визначати найбільш вигідні закони крутки профілювання лопаток по висоті;
- розраховувати та будувати характеристики лопаткових машин у параметрах подібності;

мати уявлення:

- застосування основних рівнянь газо- та термодинаміки для розрахунку лопаткових машин;
- використання ентропійної діаграми для аналізу ефективності процесів в лопатковій машині;
- геометричні параметри профілів та ступенів турбомашин та їх вплив на газодинамічні процеси;
- побудови планів швидкостей та їх використання для аналізу обраних режимів роботи та геометричних параметрів граток профілів;
- параметри, що характеризують роботу ступенів компресора і турбіни;
- види втрат енергії;
- існуючі способи підвищення ККД.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовний модуль 1. Загальні питання теорії лопаткових машин (ЛМ)

Тема 1. Основні рівняння. Газотермодинамічні процеси в турбомашинах

Класифікація ЛМ та області застосування ЛМ, вимоги щодо них. Коротка історія розвитку ЛМ. Конструктивні схеми ЛМ. Вклад вчених університету до розвитку теорії ЛМ. Рівняння нерозривності, закону збереження енергії, кількості та моменту кількості руху, стану, ізоентропічного та політропічного процесу. Узагальнене рівняння Бернуллі. Ентропійна діаграма та її властивості. Вивчення процесів у потоці газу. Енергетично ізольовані процеси, їх зображення в *is*-діаграмі. Процеси з підводом та отводом механічної та теплової енергії, їх зображення в *is*-діаграмі. Рівняння тепловміщення та Бернуллі для течії у відносному русі.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовний модуль 2. Ізольовані ступені компресора і турбіни. Гратки профілів

Тема 2. Ступінь осьового компресора

Ступінь осьового компресора, принцип дії, призначення основних елементів, процес у ступені осьового компресора, основні параметри, їх вплив на напір та ККД. Плани швидкостей. Зображення процесу в *i-S* діаграмі. Гратки профілів, геометричні параметри граток, зв'язок кінематики потоку з

геометричними параметрами ґраток. Сили, що діють на лопатки турбомашини. Теорема М.Є. Жуковського про під'ємну силу профіля у ґратці. Коефіцієнти під'ємної сили та опіру, якість ґратки. Особливості обтікання дозвуковою течією, ґратки профілів. Характеристики компресорних ґраток профілів, урахування стисливості та в'язкості течії при розрахунку ґраток профілів. Ступінь, що має вхідний НА. Особливості газотермодинамічних процесів у до-, транс- та надзвукових ступінях компресора. Просторова течія в ступінях турбомашин. Умови сумісної праці елементів ступеня, розташованих на різних радіусах, закони профілювання лопаток по радіусу. Види втрат енергії у ступені осьового компресора.

Тема 3. Ступінь осьової газової турбіни

Ступінь газової турбіни, принцип дії, призначення основних елементів, газотермодинамічні процеси, основні параметри ступеня, їх вплив на його роботу, ККД ступеня турбіни, плани швидкостей, активні та реактивні ступені. Особливості обтікання ступіння турбіни дозвуковою течією. Види втрат механічної енергії у ступені турбіни. Охолодження газових турбін.

Змістовний модуль 3. Характеристики лопаткових машин

Тема 4. Характеристики лопаткових машин

Перехід від теоретичних до дійсних характеристик ступенів лопаткових машин, характеристики ступеня осьового компресора, нестійкі режими роботи ступеня, причини, що їх викликають, коефіцієнт запасу стійкості ступеня компресора, вплив частоти обертання. Особливості прояву обертового зриву у ступенях з різним діаметром втулки, $\bar{a}_{вт}$. Параметри подібності. Зображення характеристик турбомашин в параметрах подібності. Характеристики ступеня осьової газової турбіни.

Заключення

Перспективні параметри сучасних турбомашин. Нові підходи до проектування.

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
Семестр 5					
Модуль 1. Основні рівняння. Газотермодинамічні процеси в турбомашинах					
Тема 1. Загальні питання теорії лопаткових машин (ЛМ)	43	16	2	–	25
Модульний контроль					
Разом за модулем 1	43	16	2	–	25
Модуль 2. Ізольовані ступені компресора і турбіни та їх характеристики					
Тема 2. Ступінь осьового компресора	39	17	4	–	18
Тема 3. Ступінь газової турбіни	22	6	2	–	14
Тема 4. Характеристики лопаткових машин	16	6	–	–	10
Модульний контроль					
Разом за модулем 2	77	29	6	–	42
Усього годин	120	45	8	–	67

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок параметрів течії в лопаткових машинах. Енергетично-ізолювані процеси	2
2	Процеси у компресорі з підводом механічної енергії	2
3	Процеси у турбіні з відводом енергії	2
4	Розрахунок планів швидкостей	2
	Разом	8

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз застосування рівнянь газо- і термодинаміки в розрахунках вузлів газотурбінного двигуна (Тема 1)	25
2	Ступінь осевого компресора. Типи ґраток профілів. Теорема Жуковського, урахування проявів стисливості течії (Тема 2)	18
3	Особливості побудови планів швидкостей у ступенях турбіни і компресору. Поняття ступеня реактивності (Теми 3, 4)	10
	Разом	67

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми
1	Розрахункова робота «Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД»

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, фінального контролю у вигляді іспиту.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

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

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Робота на лекційних заняттях	0...4		0...4
Виконання РР	0...4		0...4
Захист РР	0...6		0...6
Складання модульного контролю			0...36
Разом за Модуль 1			0...50
Модуль 2			
Робота на лекційних заняттях	0...4		0...4
Складання модульного контролю			0...46
Разом за Модуль 2			0...50
Всього за семестр			0...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту/заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

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

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання оцінки:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь, виконати та захистити розрахункову роботу, знати класифікацію, схеми та принцип дії лопаткових машин, основні визначення параметрів, базові термо- та газодинамічні рівняння та співвідношення, що визначають процеси в лопаткових машинах, геометричні параметри граток профілів та їх характеристики.

Добре (75-89). Твердо знати основні теми курсу лекцій, виконати, захистити розрахункову роботу в обумовлені строки, обґрунтувати основні розрахунки та рівняння, що застосовуються; вміти пояснювати основні особливості течії в лопаткових машинах (ступенях та гратках профілів) на різноманітних режимах, вміти розв'язувати задачі з розрахунків параметрів течії, будувати плани швидкостей, визначати закони крутки лопаток за висотою, відбирати найкращі, будувати графіки процесів в i-s діаграмі.

Відмінно (90-100). Повно та досконало знати лекційний матеріал, вміти його докладно пояснювати та застосовувати у розрахунках, вміти розв'язувати задачі, будувати i-s діаграми процесів у лопаткових машинах, демонструвати досконале володіння усім матеріалом, що викладався у курсі, на «відмінно» захистити розрахункову роботу.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

13. Методичне забезпечення

1. Базові підручники та навчально-методичні посібники наведені в п. 14 Рекомендована література.
2. Навчально-методичний комплекс дисципліни «Теорія та розрахунок лопаткових машин» більш детально надано на електронному ресурсі.

14. Рекомендована література

Базова

1. Теория авиационных двигателей. – Часть 1. / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров, В.Н. Котовский и др. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. – 366 с.
2. Теория авиационных газотурбинных двигателей. / Ю.М. Терещенко, Л.Г. Бойко, Л.Г. Волянская и др. Под ред. Ю.М. Терещенко. – К.: НАУ, 2013. – 596 с.
3. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.
4. Поздняков В.О., Бойко Л.Г., Герасименко В.П., Редін І.І., Кіслов О.В. Комп'ютерна програма: Комплексна система курсового і дипломного проектування. Харків, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Реєстр. номер 3569 від 23.10.17.

Допоміжна

5. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей. – Часть 1. – М.: Машиностроение, 1977. – 312 с.
6. Абианц В.Х. Теория авиационных газовых турбин. – М.: Машиностроение, 1979.
7. Локай В.И., МаксUTOва М.К., Стрункин В.А. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979. – 447 с.
8. Павленко Г.В. Термодинамический расчет газотурбинных двигателей и установок. – Харьков, ХАИ. – 2007. – 64 с.
9. Анятин А.Н. Согласование компрессоров и турбин авиационного газотурбинного двигателя. – 1985. – 52 с.
10. Буслик Л.Н., Ковалев В.И. Согласование параметров и определение основных размеров турбин и компрессоров ГТД. – 1996. – 51 с.
11. Павленко Г.В. Газодинамический расчет осевого компрессора на ЭВМ. – 1985. – 67 с.
12. Незым В.Ю. Расчет и построение решеток профилей дозвукового осевого компрессора. – Харьков, ХАИ. – 1988. – 41 с.
13. Степанов Ю.В. Выбор параметров и расчет авиационной охлаждаемой газовой турбины. – Харьков, ХАИ. – 1984. – 51 с.
14. Павленко Г.В., Волов А.Г. Газодинамический расчет осевой газовой турбины. – Харьков, ХАИ. – 2007. – 75 с.
15. Анятин А.Н. Расчет и профилирование на ЭВМ лопатки осевой газовой турбины. – Харьков, ХАИ. – 1991. – 48 с.
16. Анятин А.Н. Методические указания к выполнению домашних заданий по курсу ТРЛМ. – Харьков, ХАИ. – 1986. – 16 с.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>.