

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

Кафедра Теорії авіаційних двигунів (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



Г.О. Горбенко

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« » 2021 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»
(найменування освітньої програми)

(для здобувачів повного та скороченого терміну навчання)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

Розробник: Бойко Л.Г., зав. кафедри 201, д-р.техн. наук., 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-р. техн. наук, 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 – 4	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування) Спеціальність <u>144 «Теплоенергетика»</u> (код та найменування) Освітня програма <u>«Енергетичний менеджмент»</u> , (найменування) Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 3		2021/2022
РР « <i>Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД</i> »		Семестр
		5-й
		Лекції*
Загальна кількість годин 56/120		48 год.
		Практичні, семінарські*
		8 год.
		Лабораторні*
	—	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання:		Самостійна робота
<i>аудиторних – 3,5</i>		64 год.
<i>самостійної роботи здобувача – 4,0</i>		Вид контролю
		Модульний контроль
		іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
 $56/64=0,9$.

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 здобувачами основних положень теорії лопатевих машин газотурбінних установок та застосування при проектуванні багатоступеневих компресорів і турбін та розробці систем їх регулювання.

Завдання: вивчення принципів дії лопатевих машин різних типів, основних рівнянь та співвідношень, що відображають газотермодинамічні процеси в проточних частинах лопатевих машин, решітках профілів, розуміння особливостей їх функціонування на різних режимах роботи.

Компетентності, які набуваються:

ІК – Здатність розв'язувати складні загальні, спеціалізовані задачі та практичні проблеми теплоенергетичної галузі, що передбачає застосування певних теорій та методів електричної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

ЗК1 – Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК2 – Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3 – Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК4 – Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК6 – Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК7 – Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК8 – Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ФК1 – Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, наукові і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

ФК2 – Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін.

ФК3 – Здатність продемонструвати практичні інженерні навички при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання.

ФК4 – Здатність продемонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних в теплоенергетичній галузі.

ФК5 – Здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі.

ФК6 – Здатність досліджувати та визначити проблему і ідентифікувати обмеження, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в теплоенергетичній галузі.

ФК7 – Здатність продемонструвати знання і розуміння комерційного та економічного контексту в теплоенергетичній галузі.

ФК8 – Здатність продемонструвати розуміння ширшого міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів.

ФК9 – Здатність демонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в теплоенергетичній галузі.

ФК10 – Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію теплоенергетичного обладнання.

ФК11 – Здатність продемонструвати розуміння необхідності дотримання професійних і етичних стандартів високого рівня у діяльності в теплоенергетичній галузі.

ФК12 – Здатність демонструвати розуміння проблем якості в теплоенергетичній галузі.

ФК13 – Здатність продемонструвати знання характеристик і властивостей матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетичній галузі.

ФК14 – Здатність продемонструвати обізнаність з питань інтелектуальної власності та контрактів в теплоенергетичній галузі.

Очікувані результати навчання:

ПРН1 – Знання і розуміння математики, фізики, хімії, газодинаміки, тепло - та масообміну, технічної термодинаміки, міцності, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ПРН5 – Здатність виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання відповідно до спеціальності «Теплоенергетика»; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень.

ПРН13 – Практичні навички вирішення завдань, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень відповідно до спеціалізації

Пререквізити: фізика, технічна термодинаміка, гідрогазодинаміка, прикладна гідрогазодинаміка.

Кореквізити: теорія робочих процесів теплових машин, теплотехнічні процеси і установки, конвертування авіаційних двигунів в енергетику, основи проектування теплонасосного обладнання.

3. Зміст 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 i -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 осевого компресора.

Ступінь осевого компресора, принцип дії, призначення основних елементів, процес у ступені осевого 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 граток. Сили, що діють на лопатки турбомашини. Теорема М.Є. Жуковського про під'ємну силу профіля у гратці. Коефіцієнти під'ємної сили та опіру, якість гратки. Особливості обтікання дозвуковою течією, гратки профілів. Характеристики компресорних граток профілів, урахування стисливості та в'язкості течії при розрахунку граток 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 осевого компресора.

Тема 3. Ступінь осевої 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 осевого 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, $\bar{a}_{\text{вт}}$. Параметри подібності. Зображення характеристик турбомашин в параметрах подібності. Характеристики ступеня осевої газової турбіни.

Висновки

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
Модуль 1					
Змістовний модуль 1.					
<i>Загальні питання теорії лопаткових машин (ЛМ).</i>					
Тема 1. Основні рівняння. Газотермодинамічні процеси в турбомашинах.	43	16	2	–	25
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	43	16	2	–	25
Разом за модулем 1	43	16	2	–	25
Модуль 2.					
Змістовний модуль 2.					
<i>Ізольовані ступені компресора і турбіни. Гратки профілів.</i>					
Тема 2. Ступінь осьового компресора	36	17	4	–	15
Тема 3. Ступінь газової турбіни	25	9	2	–	14
Разом за змістовним модулем 2	61	26	6	–	29
Змістовний модуль 3.					
<i>Характеристики лопаткових машин</i>					
Тема 4. Характеристики лопаткових машин	16	6	–	–	10
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 3	16	6	–	–	10
Модуль 2	77	32	6	–	39
Усього годин	120	48	8	–	64

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	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
Лабораторні заняття не передбачені навчальним планом		

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз застосування рівнянь газо- і термодинаміки в розрахунках вузлів газотурбінного двигуна (Тема 1)	24
2	Ступінь осьового 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)	22
	Разом	64

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 здобувачів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист розрахункової роботи, фінального контролю 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
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 здобувача від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту/заліку здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

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.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

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 ґраток 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 ґратках 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	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

13. Методичне забезпечення

1. Базові підручники та навчально-методичні посібники наведені в п. 14 Рекомендована література.

2. Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням:

[http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=BookList&lang=ukr&caller_mode=Disciplines&disciplinesearch=yes&combiningAND=1&theme_cond=all theme&is ttp=0&search fld=&discipline list=820&speciality list=292&course list=0&recommend select=0&action=subscribe&list_id=1&email=](http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=BookList&lang=ukr&caller_mode=Disciplines&disciplinesearch=yes&combiningAND=1&theme_cond=all_theme&is_ttp=0&search fld=&discipline_list=820&speciality_list=292&course_list=0&recommend_select=0&action=subscribe&list_id=1&email=)

3. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2669>

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. Термогазодинамический расчет газотурбинных двигателей и установок. – Харьков, ХАИ. – 2007. – 64 с.
9. Анютин 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. Анютин А.Н. Расчет и профилирование на ЭВМ лопатки осевой газовой турбины. – Харьков, ХАИ. – 1991. – 48 с.
16. Анютин 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>.