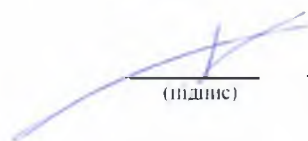


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Теорія авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



Т.П. Михайленко

(ініціали та прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Теорія і розрахунок лопаткових машин

(назва навчальної дисципліни)

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

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

Освітні програми: «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування енергетичних систем»
(найменування освітньої програми)


(для здобувачів повного та скороченого терміну навчання)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2023 рік

Розробник: Бойко Л.Г., зав. кафедри 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 «24» серпня 2023 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 – 4	<p>Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (цифра та найменування)</p> <p>Спеціальність <u>144 «Теплоенергетика»</u> (код та найменування)</p> <p>Освітня програма <u>«Комп'ютерно-інтегровані технології проектування енергетичних систем»</u> (найменування)</p> <p>Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)</p>	<i>Обов'язкова</i>
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 3		2022/2023
Індивідуальне завдання РР «Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД»		Семестр
Загальна кількість годин 120		5-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: <i>аудиторних – 3,5 год.</i> <i>самостійної роботи здобувача – 4,0 год.</i>		Лекції*
		48 год.
		Практичні, семінарські*
		8 год.
		Лабораторні*
	–	
	Самостійна робота	
	64 год.	
	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:

- 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;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність приймати обгрунтовані рішення;
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;
- здатність приймати обгрунтовані рішення;
- здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, наукові і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі;
- здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін;
- здатність продемонструвати практичні інженерні навички при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання;
- здатність продемонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних в теплоенергетичній галузі;
- здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі;
- 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;
- здатність продемонструвати розуміння ширшого міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів;
- здатність демонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в теплоенергетичній галузі;
- 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;

– здатність продемонструвати розуміння необхідності дотримання професійних і етичних стандартів високого рівня у діяльності в теплоенергетичній галузі;

– здатність демонструвати розуміння проблем якості в теплоенергетичній галузі;

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

Очікувані результати навчання:

– 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;

– знання і розуміння інженерних дисциплін, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки;

– розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика»;

– здатність розуміти складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності «Теплоенергетика»; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень;

– 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;

– здатність використовувати певне розуміння передових досягнень при проектуванні об'єктів в теплоенергетичній галузі;

– 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 турбомашиних*

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. 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.

Тема 2. *Ступінь осьового компресора*

Ступінь осьового компресора, принцип дії, призначення основних елементів, процес у ступені осьового компресора, основні параметри. 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. 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, ККД ступеня турбіни, плани швидкостей, активні та реактивні ступені. Особливості обтікання ступеня турбіни дозвуковою течією. Види втрат механічної енергії у ступені турбіни. Охолодження газових турбін.

Змістовний модуль 2. *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, $\bar{d}_{вт}$. Параметри подібності. Зображення характеристик турбомашин в параметрах подібності. Характеристики ступеня осьової газової турбіни.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовний модуль 3. Ступінь відцентрового компресора

Тема 5. Ступінь відцентрового компресора

Принцип дії, призначення основних елементів, основні геометричні та термогазодинамічні параметри. Плани швидкостей. Закономірності зміни параметрів уздовж проточної частини. Форми лопаток на виході, вплив ВНА. Характеристики ступені ВЦК.

Змістовний модуль 4. Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання

Тема 6. Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання

Багатоступеневий осьовий компресор (БОК), основні параметри, зв'язок з параметрами ступенів компресора. Вибір параметрів ступенів при проектуванні на розрахунковому режимі. Умови узгодження спільної роботи ступенів у багатоступеневій машині. Характеристики нерегульованого багатоступеневого компресору, характер разузгодження ступенів при зміні витрати та частоти обертання. Нестійкі режими роботи. Діапазон робочих режимів, вплив напірності. Засоби регулювання компресорів та їх застосування на різних режимах.

Змістовний модуль 5. Багатоступеневі осьові газові турбіни, радіальні турбіни та їх регулювання

Тема 7. Багатоступеневі осьові газові турбіни, радіальні турбіни та їх регулювання

Багатоступеневі осьові турбіни. Основні параметри, зв'язок з параметрами ступенів. Вибір параметрів ступенів при проектуванні на розрахунковому режимі. Особливості проектування охолоджуваних ступенів турбіни. Оцінки ефективності. Нерозрахункові режими роботи, характеристики багатоступеневої турбіни, особливості сумісної роботи ступенів. Побудова характеристик. Засоби регулювання шляхом повороту СА. Особливості робочого процесу та проектування доцентрової газової турбіни.

Висновки

Перспективні параметри сучасних турбомашин. Нові підходи до проектування.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

1	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
		л	п	лаб.	с. р.
2	3	4	5	6	
Модуль 1					
Змістовний модуль 1.					
<i>Загальні питання теорії лопаткових машин</i>					
Тема 1. Загальні питання теорії лопаткових машин (ЛМ)	22	8	4	–	10
Разом за модулем 1	22	8	4	–	10
Змістовний модуль 2.					
<i>Ізольовані ступені компресора і турбіни. Гратки профілів</i>					
Тема 2. Ступінь осьового компресора	22	8	4	–	10
Тема 3. Ступінь газової турбіни	8	4	–	–	4
Тема 4. Характеристики лопаткових машин	8	4	–		4
Модульний контроль					
Разом за модулем 2	38	16	4		18
Модуль 2					
Змістовний модуль 3.					
<i>Відцентровий компресор</i>					
Тема 5. Відцентровий компресор	6	4	–		2
Разом за модулем 3	6	4	–		2
Змістовний модуль 4.					
<i>Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання</i>					
Тема 6. Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання	32	12		–	20
Разом за модулем 4	32	12		–	20
Змістовний модуль 5.					
<i>Багатоступеневі осьові газові турбіни та їх регулювання</i>					
Тема 7. Багатоступеневі осьові газові турбіни та їх регулювання	22	8	–	–	14
Модульний контроль					
Разом за модулем 5	22	8	–	–	14
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.	24
2	Ступінь осьового компресора. Типи ґраток профілів. Теорема Жуковського, урахування проявів стисливості течії.	18
3	Особливості побудови планів швидкостей у ступенях турбіни і компресору. Поняття ступеня реактивності.	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, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота здобувачів ,

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист розрахункової роботи, фінальний 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
Модуль 1			
Виконання РР	0...6		0...6
Захист РР	0...8		0...8
Складання модульного контролю			0...36
Разом за Модуль 1			0...50
Модуль 2			
Робота на практичних 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 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

Семестр 5

Необхідний обсяг знань для одержання оцінки:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь, виконати розрахунково-графічну роботу, всі лабораторні та практичні роботи, включаючи контрольні, знати класифікацію, схеми та принцип дії лопаткових машин, основні визначення параметрів, базові термо- та газодинамічні рівняння, що визначають процеси в лопаткових машинах, геометричні параметри ґраток профілів та ступенів та їх характеристики. Показати мінімум знань з питань устрою та принципу дії ступеня відцентрового компресору, його параметрів та характеристик. Знати основні параметри багатоступеневих компресора і турбіни та їх зв'язок з параметрами ступенів, що його утворюють, побудову сумарних характеристик, мати уяву про засоби їх регулювання.

Добре (75-89). Твердо знати основні теми курсу лекцій, виконати та захистити розрахунково-графічну роботу, всі лабораторні та практичні роботи, вміти обґрунтувати основні розрахунки за допомогою рівнянь, 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 закрутки 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=
3. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2669>

14. Рекомендована література

Базова

1. 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.
http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&themes_basket=&ttp_themes_basket=&ext=no&theme_path=0&author_fld=&docname_fld=%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82

%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%96+%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD%D0%B8+%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D1%85+%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%96%D0%B2&docname_cond=beginwith&year_fld1=&year_fld2=&udc_fld=&isbn_fld=&lang_list=0&pubplace_fld=&publisher_fld=&bbc_fld=&issn_fld=&annotation_fld=&volume_fld=&part_fld=&responsibility_fld=&theme_cond=all_theme&litttype_list=0&theme_list=0&disciplinesearch=&discipline_list=&tpage=1&step=20&faculty_list=0&department_list=&speciality_list=0&knmz_doctype_list=0&speciality_knmz_list=&sillabus_list=&knowledgearea_list=&qualificationlevel_list=&initiator_mode=SearchDocForm&full_searchfld=&ecopy=4&combiningAND=0&is_ttp=0&print_basket=%2C&docid=99006332&doctype_list=0&doctoselect=0

2. 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.
3. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт з дисципліни «Теорія і розрахунок лопаткових машин», Харків, «ХАІ», кафедра Теорії авіаційних двигунів, 2023 р.
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

1. Boyce M. Gas Turbine Engineering 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.pdf>
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>

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>.