

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

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


_____ С.М. Нижник _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Робочі процеси авіаційних двигунів

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: _____ 13 «Механічна інженерія» _____
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: _____ 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» _____
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: _____ «Авіаційні двигуни та енергетичні установки» _____
(найменування освітніх програм)

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)

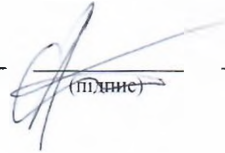
Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Теорії авіаційних двигунів (201)

(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>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр та найменування)</p> <p>Спеціальність <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код та найменування)</p> <p>Освітня програма <u>«Авіаційні двигуни та енергетичні установки»</u> (найменування)</p> <p>Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)</p>	Обов'язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 4		2023/2024
Індивідуальне завдання: РГР «Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД»		Семестр
		5-й
		Лекції ^{*)}
Загальна кількість годин – 5 семестр – 120		32
		Практичні, семінарські ^{*)}
Кількість тижневих годин для денної форми навчання:		16
		Лабораторні ^{*)}
Семестр 5		16
Аудиторних – 4 год. Самостійної роботи здобувача – 3,5 год.		Самостійна робота
		36
	Вид контролю	
	Модульний контроль	
	Іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 64/56

^{*)} Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: надбання знань з робочих процесів авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), розрахунків газодинамічних параметрів основних вузлів проточної частини авіаційних ГТД в двигунах.

Завдання: вивчення робочого процесу та методів розрахунку газодинамічних параметрів основних вузлів проточної частини ГТД.

Компетентності, які набуваються:

ЗК4. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК5. Здатність працювати у команді.

ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК7. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ФК2. Здатність використовувати положення гідравліки, аеро- та газодинаміки для опису взаємодії тіл з газовим і гідравлічним середовищем.

ФК4. Здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність.

ФК5. Здатність проектувати та здійснювати випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

Очікувані результати навчання:

ПРН 3. Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності.

ПРН 4. Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі.

ПРН 5. Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

ПРН 7. Володіти логікою та методологією наукового пізнання, що ґрунтується на розумінні сучасного стану і методології предметної області.

ПРН 8. Дотримуватися вимог галузевих нормативних документів щодо процедур проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки на всіх етапах їх життєвого циклу.

ПРН 9. Пояснювати вплив конструктивних параметрів елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на її льотно-технічні характеристики. Мати уявлення про методи забезпечення стійкості та керованості авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ПРН 10. Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу.

ПРН 11. Розуміти принципи механіки рідини та газу, зокрема, гідравліки, аеродинаміки (газодинаміки).

ПРН 13. Розуміти особливості робочих процесів у гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних системах, що застосовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці.

ПРН 17. Розуміти і обґрунтувати послідовність проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ПРН 19. Розуміти та обґрунтовувати особливості конструкцій та основні аспекти робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Пререквізити: «Математичний аналіз», «Фізика», «Термодинаміка і теплообмін», «Гідрогазодинаміка».

Кореквізити: «Конструкція АД і ЕУ», виконання курсових та дипломного проекту, комп'ютерні технології розробки і виробництва авіаційних двигунів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. *Загальні питання теорії робочих процесів в авіаційних двигунах.*

Тема 1. *Основні рівняння та їх застосування при аналізі процесів*

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. Аналіз зміни параметрів течії в дифузорному і конфузорному каналах. Процеси з підводом та відводом 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, робочий процес у ступені осьового компресора, основні параметри. Плани швидкостей. Зображення процесу в $i-S$ діаграмі. Гратки профілів, геометричні параметри граток. Сили, що діють на лопатки турбомашини. Теорема М.Є. Жуковського про під'ємну силу профіля у гратці. Особливості обтікання дозвуковою течією, гратки профілів. Характеристики компресорних граток профілів. Умови сумісної праці елементів ступеня, розташованих на різних радіусах, закони профілювання лопаток по радіусу.

Тема 3. *Ступінь осової газової турбіни*

Ступінь газової турбіни, принцип дії, призначення основних елементів, газотермодинамічні процеси, основні параметри ступеня, ККД ступеня турбіни, плани швидкостей. Особливості обтікання ступеня турбіни дозвуковою течією. Охолодження газових турбін.

Змістовний модуль 2. Характеристики лопаткових машин

Тема 4. Характеристики 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, $\bar{d}_{вт}$. 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 газотермодинамічні параметри. Плани швидкостей. Форми лопаток на виході. Характеристики ступеня ВЦК.

Змістовний модуль 4. Багатоступеневі осьові компресори і турбіни 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. Характеристики нерегульованого багатоступеневого компресору, характер разузгодження ступенів при зміні витрати та частоти обертання. Нестійкі режими роботи. Діапазон робочих режимів. Засоби регулювання компресорів та їх застосування.

Змістовний модуль 5. Багатоступеневі осьові газові турбіни та їх регулювання

Тема 7. Багатоступеневі осьові газові турбіни та їх регулювання

Багатоступеневі осьові турбіни. Основні параметри. Вибір параметрів ступенів при проектуванні на розрахунковому режимі. Особливості проектування охолоджуваних ступенів турбіни. Оцінки ефективності. Характеристики багатоступеневої турбіни, особливості сумісної роботи ступенів. Особливості робочого процесу доцентрової газової турбіни.

Висновки

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</i>					
Тема 1. <i>Загальні питання теорії робочих процесів в авіаційних двигунах</i>	24	8	4	–	12
Разом за модулем 1	24	8	4	–	12
Змістовний модуль 2.					
<i>Ізольовані ступені компресора і турбіни. Гратки профілів</i>					
Тема 2. <i>Ступінь осьового компресора</i>	26	6	4	4	12
Тема 3. <i>Ступінь газової турбіни</i>	14	2	–	4	8
Тема 4. <i>Характеристики лопаткових машин</i>	14	4	–	4	6
Модульний контроль					
Разом за модулем 2	54	12	4	12	26
Модуль 2					
Змістовний модуль 3.					
<i>Відцентровий компресор</i>					
Тема 5. <i>Відцентровий компресор</i>	14	4	–	4	6
Разом за модулем 3	14	4	–	4	6
Змістовний модуль 4.					
<i>Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання</i>					
Тема 6. <i>Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання</i>	20	4	8	–	8
Разом за модулем 4	20	4	8	–	8
Змістовний модуль 5.					
<i>Багатоступеневі осьові газові турбіни та їх регулювання</i>					
Тема 7. <i>Багатоступеневі осьові газові турбіни та їх регулювання</i>	8	4	–	–	4
Модульний контроль					
Разом за модулем 5	8	4	–	–	4
Усього годин	120	32	16	16	56

5. Теми семінарських занять

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

6. Теми практичних занять (5 семестр)

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунки та відображення в іS-діаграмі енергоізолюваних процесів в проточній частині двигуна	4
2	Розрахунки та відображення в іS-діаграмі процесів в проточній частині двигуна з підводом та відводом механічної або теплової енергії	4
3	Дослідження кінематики потоку в ступені осьового компресора	4
4	Дослідження кінематики потоку в ступені осьової турбіни	4
Разом		16

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кіл-сть годин
1	Типи поршневих та повітряно-реактивних двигунів. Принципи їх роботи	2
2	Схеми силових установок з ГТД, принцип роботи та їх параметри	2
3	Ознайомлення зі стендами ТРД, ТВАД та системами вимірювань параметрів	2
4	Is-діаграма циклу ТРД	4
5	Характеристика компресора	2
6	Характеристики ТРД	4
Разом		16

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз застосування рівнянь газо- і термодинаміки в розрахунках вузлів газотурбінного двигуна.	14
2	Ступінь осьового компресора. Типи ґраток профілів. Теорема Жуковського, урахування проявів стисливості течії.	8

3	Ступінь осьової турбіни.	6
4	Особливості побудови планів швидкостей у ступенях турбіни і компресору. Поняття степені реактивності.	6
5	Характеристики ступенів компресора і турбіни.	8
6	Відцентровий компресор	4
7	Багатоступеневий компресор і турбіна	10
	Разом	56

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми
1	Виконання розрахунково-графічної роботи на тему «Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД».

10. Методи навчання

Проведення лекцій, практичних, лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів.

На лекціях студенти отримують знання з основ теорії робочих процесів, вивчають підходи до їх розрахунків, які надалі будуть використані при виконанні індивідуальної розрахунково-графічної роботи, а також практичних, лабораторних робіт та самостійної роботи.

Проведення лабораторних робіт, що базуються на експериментальному дослідженні параметрів течії в лопаткових машинах та їх сумарних характеристик, дає змогу вивчення робочих процесів у реальних об'єктах. Під час занять online фізичні експерименти замінюють розрахунковими дослідженнями на базі отриманих опитних даних.

Практичні роботи дають змогу навчитися застосуванню теоретичних положень курсу для виконання розрахунків параметрів робочих процесів в узлах авіаційного двигуна шляхом розв'язання ряду завдань, побудові графіків процесу, трикутників швидкостей та інш.

Виконання розрахункової роботи дозволить студентам навчитися оцінювати параметри течії в основних вузлах авіаційного газотурбінного двигуна.

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 студенти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Наявність конспекту лекцій			0 – 3
Виконання лабораторних робіт	0 – 1	3	0 – 3
Захист лабораторних робіт	0 – 3	3	0 – 9
Робота на практичних заняттях	0 – 4		0 – 4
Виконання розрахункової роботи	0 – 2	1	0 – 2
Захист розрахункової роботи	0 – 5	1	0 – 6
Складання модульного контролю		1	0 – 23
Разом за Модуль 1			0...50
Модуль 2			
Наявність конспекту лекцій			0 – 3
Виконання лабораторних робіт	0 – 1	3	0 – 3
Захист лабораторних робіт	0 – 3	3	0 – 9
Робота на практичних заняттях	0 – 4		0 – 4
Складання модульного контролю		1	0 – 31
Разом за Модуль 2			0...50
Всього за семестр			0...100

Семестровий контроль проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту. При складанні семестрового іспиту студент має змогу отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з трьох запитань (двох теоретичних та одного практичного), за які відповідно встановлюються такі оцінки: 33, 33 і 34 бали.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Необхідний обсяг знань для одержання оцінки:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань з дисципліни та умінь, виконати розрахунково-графічну роботу, всі лабораторні та практичні роботи, знати основні вузли газотурбінного двигуна, їх призначення та газодинамічні процеси, що в них відбуваються, основні визначення параметрів, базові термо- та газодинамічні рівняння, що визначають процеси в лопаткових машинах, геометричні параметри граток профілів та ступенів та їх характеристики. 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 особливості течії в лопаткових машинах (ступенях, гратках

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.

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&discipline_search=yes&combiningAND=1&theme_cond=all_theme&is_ttp=0&search fld=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F+%D1%82%D0%B0+%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%85%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA+&discipline_list=820&speciality_list=385&course_list=0&recommend_select=0&action=subscribe&list_id=1&email=

- Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2674>

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.

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&discipline_search=&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_1ist=0&doctoselect=0

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-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>

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>.