

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

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньо-наукової програми

 Сергій ЄПІФАНОВ
(підпис) (ініціали та прізвище)

«24» 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Наукові проблеми удосконалення робочих процесів
об'єктів енергетичного машинобудування**

(назва навчальної дисципліни)

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

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Енергетичне машинобудування»
(найменування)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: третій (PhD)

Харків 2023 рік

РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Наукові проблеми удосконалення робочих процесів

об'єктів енергетичного машинобудування

(назва навчальної дисципліни)

«24» серпня 2023 р., – 13 с.

Розробник: зав. кафедри., д.т.н., проф.
(посада, науковий ступінь та вчене звання)

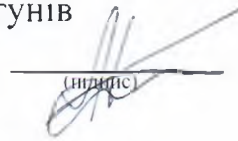


(підпис)

Людмила БОЙКО
(прізвище та ініціал)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Теорії авіаційних двигунів
Протокол № 1 від «24» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри теорії авіаційних двигунів
д.т.н., професор

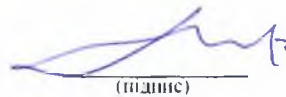


(підпис)

Людмила БОЙКО
(прізвище та ініціал)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури



(підпис)

Володимир СЕЛЕВКО
(прізвище та ініціал)

В.о. голови наукового товариства
студентів, аспірантів,
докторантів і молодих вчених



(підпис)

Семен ЖИЛА
(прізвище та ініціал)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни. <i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів – 5	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> <small>(шифр і назва)</small>	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2	Спеціальність <u>142 «Енергетичне машинобудування»</u> <small>(шифр і назва)</small>	2023/2024
Індивідуальне завдання: <i>Не передбачено навчальним планом</i>		Семестр
Загальна кількість годин – 150	Рівень вищої освіти: <u>третій (PhD)</u>	2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 год. самостійної роботи студента – 5,4 год.		Лекції ^{*)}
		32 год.
		Практичні ^{*)}
		32 год.
		Лабораторні ^{*)}
		–
Самостійна робота		
86 год.		
Вид контролю	Іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 64/86.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: вивчення особливостей робочих процесів об'єктів енергетичного машинобудування, визначення наукових проблем їх удосконалення та шляхів їх вирішення.

Завдання: придбання навичок аналізування робочих процесів в об'єктах енергетичного машинобудування, формулювання наукових проблем та шляхів їх вирішення.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні досягти таких **компетентностей:**

Загальні:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

Спеціальні (фахові):

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати результатів, які створюють нові знання у сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї (нього, них) міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях в галузі електричної інженерії, та суміжних галузей.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК09. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів, та інструментів педагогічної та наукової діяльності у сфері енергетичного машинобудування.

Програмні результати навчання:

ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з енергетичного машинобудування і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідної галузі, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, ...) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН04. Розробляти, проектувати, модернізувати складні об'єкти енергетичного машинобудування, формувати вимоги до них, аналізувати адекватність методології проектування.

ПРН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні

проблеми енергетичного машинобудування з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

ПРН08. Розуміти загальні принципи та методи енергетичного машинобудування, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері енергетичного машинобудування та у викладацькій практиці.

ПРН10. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проектів з енергетичного машинобудування.

ПРН12. Знати сучасні підходи та засоби моделювання робочих процесів досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати моделі систем та елементів об'єктів енергетичного машинобудування.

Міждисциплінарні зв'язки. Вивчення дисципліни надає підставу для подальшого навчання за дисциплінами «Теоретичні аспекти газодинамічного проектування та математичне моделювання газотурбінних двигунів» «Проблеми нестійкості і методи експериментальних досліджень турбомашин». Отримані знання є основою для успішної роботи над випускною роботою для отримання ступеня доктора філософії.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовний модуль 1. Загальні питання підвищення досконалості робочих процесів в об'єктах енергетичного машинобудування.

Тема 1. Різноманіття об'єктів енергетичного машинобудування та області їх застосування.

Класифікація газотурбінних двигунів і установок. Області застосування. Газотурбінні двигуни у якості привода, для наземного використання.

Тема 2. Основні параметри робочого процесу енергетичної установки.

Питомі параметри і ККД: питома тяга, питома потужність, питомі витрати палива, загальний ККД та його зв'язок з питомою витратою пального, внутрішній та тяговий ККД, енергетичний баланс двигуна.

Тема 3. Оптимізація параметрів циклу. Основні закономірності робочого процесу в газотурбінних двигунах.

Зміна параметрів течії уздовж газодинамічного тракту. i-S діаграма процесу в основному контурі. Корисна робота циклу, її залежність від параметрів робочого процесу. Оптимізація параметрів циклу – шлях до удосконалення ГТД.

Взаємозв'язок корисної роботи циклу питомої тяги, питомої витрати палива та степені підвищення тиску. Оптиміальне значення степені підвищення тиску (економічне π_k^*).

Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги та питомої витрати палива від степені підігріву повітря.

Залежність роботи циклу від ККД процесів стиснення, розширення.

Тема 4. Визначення шляхів удосконалення параметрів цикла та питомих параметрів двигуна.

Методологія вибора параметрів на початковому етапі проектування двигуна.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовний модуль 2. Наукові проблеми та шляхи удосконалення параметрів основних вузлів двигуна.

Тема 5. Удосконалення параметрів лопаткових машин шляхом застосування розрахункових підходів.

Існуючі підходи до проектування лопаткових машин. Пряма та зворотна задачі теорії турбомашин. Класифікація існуючих методів за ознаками стаціонарності, стисливості, в'язких властивостей та вимірності течії. 1-D, 2-D та 3-D-підходи до проектування та аналізу течії в лопаткових машинах. Їх застосування на різних етапах проектування і доводки.

Тема 6. Наукові проблеми підвищення параметрів компресорів (ізольовані ступені).

Основні параметри (газодинамічні та геометричні) осьових компресорів. Взаємозв'язок та сумісна робота ґраток профілів, розташованих на різних радіусах. Класичні закони профілювання ступенів та їх модифікація з метою удосконалення параметрів. Залежність від зміни роботи за радіусом. Еволюція форм профілів: дозвукові, надзвукові, надкритичні. Існуючі підходи до їх побудови та підвищення ККД. Характеристики ступенів. Границя стійких режимів, шляхи уникнення нестійкості та розширення робочого діапазону ступеня. Надроторні пристрої.

Тема 7. Питання удосконалення багатоступеневих компресорів.

Взаємовплив та особливості сумісної роботи ступенів у багатоступеневих компресорах. Характеристики багатоступеневих компресорів. Вплив зміни частоти обертання та витрати на режими роботи ступенів. Нестійкі режими роботи, шляхи їх запобігання.

Тема 8. Удосконалення параметрів осьових турбін.

Основні параметри та особливості їх роботи. Характеристики ґраток профілів. Профілювання лопаток турбін за висотою. Високонантажені ступені турбін низького тиску. Вплив різних факторів та їх використання до підвищення ККД. Охолодження лопаткових вінців. Вибір оптимальної витрати охолоджуючого повітря.

Сумісна робота ступенів у багатоступеневій турбіні, режими їх роботи. Її вплив на характеристики турбін.

Тема 9. Підвищення параметрів турбомашин шляхом їх регулювання.

Перепуск повітря з проточної частини, його вплив на сумарні характеристики та особливості обтікання ступенів компресору до- та після клапанів перепуску. Регулювання компресорів шляхом повороту лопаткових вінців направляючих апаратів та робочих коліс.

Регулювання багатоступневих турбін шляхом використання поворотних соплових апаратів. Особливості розрахунку та підвищення параметрів охолоджуваних турбін.

Тема 10. Особливості проектування та вибору параметрів сучасних двигунів та енергетичних установок.

Визначення рівня температури газу перед турбіною, сучасні матеріали, системи охолодження. Підвищення ступені підвищення тиску у компресорах. Навантаження та рівень швидкостей у сучасних ступенях компресорів, малоступеневі компресори. Особливості побудови профілів та ґраток. Шляхи підвищення запасів стійкості. Надроторні пристрої Підвищення навантаження багатоступневих турбін.

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. Загальні питання підвищення досконалості робочих процесів в об'єктах енергетичного машинобудування					
Тема 1. Різноманіття об'єктів енергетичного машинобудування та області їх застосування	4	2	–	–	2
Тема 2. Основні параметри робочого процесу енергетичної установки	16	2	4	–	10
Тема 3. Основні закономірності робочого процесу в газотурбінних двигунах	14	4	–	–	10
Тема 4. Визначення шляхів удосконалення параметрів циклу та питомих параметрів двигуна	18	2	6	–	10
Модульний контроль					
Разом за модулем 1	52	10	10	–	32
Модуль 2					
Змістовний модуль 2. Основні наукові проблеми та шляхи удосконалення параметрів основних вузлів двигуна					
Тема 5. Удосконалення параметрів лопаткових машин шляхом застосування розрахункових підходів	12	2	–	–	10
Тема 6. Наукові проблеми підвищення параметрів ступенів компресорів	32	6	16	–	10
Тема 7. Питання удосконалення багатоступеневих компресорів	22	6	6	–	10
Тема 8. Удосконалення параметрів турбін	14	4	–	–	10
Тема 9. Підвищення параметрів турбомашин шляхом їх регулювання	12	2	–	–	10
Тема 10. Особливості проектування та вибору параметрів сучасних двигунів та енергоустановок	6	2	–	–	4
Модульний контроль					
Разом за модулем 2	98	22	22	–	54
Усього годин за семестр	150	32	32	–	86

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не передбачено навчальним планом	

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні параметри робочого процесу енергетичної установки. Вибір параметрів для проектування газотурбінного двигуна	4
2	Розрахунок питомих параметрів газотурбінного двигуна. Забезпечення заданих значень тяги (потужності). Визначення шляхів оптимізації параметрів циклу ГТД	12
3	Розрахунок характеристик ґраток профілів компресорного ступеня за допомогою чисельного методу	8
4	Удосконалення форми профілів у ґратках з метою зниження втрат на надкритичних режимах	8
	Разом	32

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не передбачено навчальним планом	

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення різноманіття об'єктів енергетичного машинобудування. Основні параметри. Класифікація газотурбінних установок	2
2	Основні параметри робочого процесу газотурбінного двигуна. Питомі параметри і ККД, енергетичний баланс двигуна	10
3	Зображення термодинамічного циклу газотурбінних двигунів в i-S діаграмі. Корисна робота циклу. Оптимізація параметрів циклу (π_k^* , π_Γ^*)	10
4	Методологія вибору параметрів ГТД на початковому етапі проектування. Шляхи удосконалення параметрів	12
5	Основні підходи до розрахункових досліджень лопаткових машин. Пряма та зворотня задачі. Класифікація методів розрахунку	10
6	Основні параметри компресорів, шляхи їх одержання в процесі проектування, проектування ґраток профілів, їх зв'язок в радіальному напрямку. Еволюція форм профілів в залежності від швидкостей течії. Характеристики ступенів, визначення границі стійкої роботи	12
7	Особливості сумісної роботи ступенів у багатоступеневому компресорі. Побудова сумарних характеристик. Нестійкі	10

	режими багатоступневих машин	
8	Особливості роботи сучасних турбін. Організація охолодження. Шляхи підвищення ККД. Аналіз сумісної роботи ступенів у багатоступневій турбіні	10
9	Застосування регулювання багатоступневих компресорів та турбін (шляхи та засоби). Його вплив на параметри турбомашин	10
	Разом	86

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми
1	Не передбачено навчальним планом

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники), а також в літературних джерелах.

На лекціях студенти отримують знання з основ теорії робочих процесів в окремих вузлах та двигуні у цілому та методів їх удосконалення, вивчають підходи до їх розрахунків, які надалі будуть використані при виконанні практичних робіт та самостійної роботи.

Практичні роботи дають змогу навчитися застосуванню теоретичних положень курсу для виконання розрахунків термогазодинамічних параметрів енергетичних установок шляхом розв'язання ряду завдань, їх оптимізації та удосконалення.

Великий внесок належить самостійній роботі студента, що дозволяє йому глибше засвоювати матеріали лекцій та розширювати свій світогляд за даною дисципліною.

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист практичних робіт, екзамен.

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			
Виконання практичних робіт	0 – 3	2	0 – 6
Захист практичних робіт	0 – 5	2	0 – 10
Складання модульного контролю	30	1	0 – 34
Разом за Модуль 1			0...50
Модуль 2			
Виконання практичних робіт	0 – 3	2	0 – 6
Захист практичних робіт	0 – 5	2	0 – 10
Складання модульного контролю	30	1	0 – 34
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.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання оцінки:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь, виконати розрахункові практичні роботи, знати класифікацію, схеми та принцип дії газотурбінного двигуна та його вузлів, машин, основні визначення параметрів, базові термо- та газодинамічні рівняння, що визначають процеси, характеристики основних вузлів та двигуна в цілому.

Добре (75-89). Твердо знати основні теми курсу лекцій, виконати та захистити практичні роботи, вміти обґрунтувати основні розрахунки за допомогою рівнянь, вміти пояснювати особливості течії в проточній частині двигуна та лопаткових машинах (ступенях і гратках профілів) на різноманітних режимах, вміти розв'язувати завдання з розрахунків параметрів течії, будувати i-s діаграми процесів, будувати характеристики ступенів турбіни та осьового компресора, а також багатоступеневих машин знати шляхи удосконалення параметрів енергоустановок.

Відмінно (90-100). Повно та досконало знати лекційний матеріал, вміти його докладно викласти, пояснити та застосовувати у розрахунках, пояснювати особливості течії на різних режимах та зміну параметрів, виконати на «відмінно» і захистити усі практичні роботи.

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 навчально-методичні посібники наведені в п. 14 Рекомендована література.
2. Комплекс програм для проектування газотурбінних двигунів, а також розрахункового дослідження течії у ґратках профілів та багатоступеневих компресорах, розроблених на кафедрі.

14. Рекомендована література

Базова

1. Теорія теплових двигунів. Підручник / Ю.М. Терещенко, Л.Г. Бойко, С.О. Дмитрієв та інш. За ред. Ю.М. Терещенка. – К.: Вища школа., 2001. – 382 с.
2. Теорія авіаційних газотурбінних двигунів / Ю.М. Терещенко, Л.Г. Бойко, Л.Г. Волянська и др. Под ред. Ю.М. Терещенка. – К.: НАУ, 2013. – 596
3. Гостелуо Дж. / Аеродинаміка решіток турбомашин / Дж. Гостелуо. – М. – 1987. – 392 с.
4. Кампсті Н. Аеродинаміка компресорів / Н. Кампсті / Пер. з англ. – М., 2000. – 688с .
5. Бойко Л.Г. Розрахунок до-, транс- і надзвукової течії у компресорних решітках профілів. Проектування компресорних решіток за допомогою числових методів [Текст] :навч. посібник / Л. Г. Бойко, О. Є. Дьомін,Н.В.Піжанкова. - Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2023. - 65 с.

Допоміжна

6. Бойко А.В. / Аеродинамічний розрахунок і оптимальне проектування проточної частини турбомашин / А.В. Бойко, Ю.Н. Говорущенко, С.В. Ершов, А.В. Русанов, Северин. – Харків. – НТУ ХПІ. – 2002. – 355 с.
7. Boyce M. Gas-turbines 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>
8. 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>
9. Heneske K. Jet Engines Fundamentals of Theory, Design and Operation. Motor books International Publishers, Great Britain, 2003. – 241 p.

https://www.academia.edu/6889926/Klaus_Hunecke_Jet_Engines_Fundamentals_of_Theory

10. Cohen H., Rogers G.F.C., Saravanamuttoo H.J.H., Gas Turbine Theory, London Group Limited, T.J. Press, Padstow, Cornwall. – 442 p.

<https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20THEORY%20BY%20HIH%20SARAVANAMUTTOO,%20H.%20COHEN%20&%20GFC%20ROGERS.pdf>

11. Giampaolo A. Gas Turbine Hand Book. Principles and Practices. Third Edition. Faimont Press. Inc. – 2006. – 437 p.

<https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20ENGINEERING%20HAND%20BOOK%20BY%20MEHERWAN%20P.%20BOYCE%20%282nd%20Edition%29.pdf>

12. Walsh P.P., Fletcher P. Gas Turbine Performance. – Blackwell Science Ltd. – Blackwell Publishing Company. – 2004. – 246 p.

https://www.ge.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/downloads/gas-new-site/resources/reference/ger-3567h-ge-gas-turbine-performance-characteristics.pdf

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>.