

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

Кафедра «Теорія авіаційних двигунів» (№ 201)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми

  
(підпис) Т.П. Михайленко  
(ініціали та прізвище)

« 30 » 08 2024 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: «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 2024 рік**

Розробник: Бойко Л.Г., професор 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 « 20 » \_\_\_\_\_ серпня 2024 р.

В. о.завідувача кафедри канд. техн. наук, доцент  О.В. Кіслов  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (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><b>Галузь знань</b> 14 «Електрична інженерія» (цифра та найменування)</p> <p><b>Спеціальність</b> 144 «Теплоенергетика» (код та найменування)</p> <p><b>Освітня програма</b> «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування енергетичних систем» (найменування)</p> <p><b>Рівень вищої освіти:</b> перший (бакалаврський)</p>	Вибіркова
Кількість модулів – 2		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістовних модулів – 3		2024/2025
Індивідуальне завдання РР «Розрахунок параметрів потоку по тракту ГТД»		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин 120, кількість годин аудиторних занять-56		5-й
<p>Кількість тижневих годин для денної форми навчання:</p> <p>аудиторних – 3,5 год.</p> <p>самостійної роботи здобувача – 4,0 год.</p>		<b>Лекції*</b>
		48 год.
		<b>Практичні, семінарські*</b>
		8 год.
		<b>Лабораторні*</b>
	–	
	<b>Самостійна робота</b>	
	64 год.	
<b>Вид контролю</b>		
Модульний контроль		
Іспит		

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

<sup>1)</sup> 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 багатоступневих 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.

### Загальні:

ЗК1. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

ЗК2. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК6. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК8. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК9. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

### Фахові:

ФК1. Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні методи, методи природничих та технічних наук і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

ФК2. Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем.

ФК4. Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі.

ФК7. Здатність враховувати ширший міждисциплінарний інженерний контекст у професійній діяльності в сфері теплоенергетики.

ФК8. Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.

ФК14. Здатність застосовувати знання та підходи термодинаміки, тепломасообміну, гідрогазодинаміки, теплофізичних властивостей речовин для аналізу ефективності теплогідравлічних процесів, розрахунку, проектування теплоенергетичного обладнання та раціонального використання енергетичних ресурсів.

**Програмні результати навчання:**

***Знання і розуміння***

ПРН2. Знати і розуміти інженерні науки, 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 у сфері теплоенергетики.

ПРН3. Розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика».

ПРН4. Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики.

ПРН5. Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

***Проектування***

ПРН7. Розробляти і проектувати складні вироби в теплоенергетичній галузі, процеси і системи, що задовольняють встановлені вимоги, які можуть включати обізнаність про технічні й нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти.

***Інженерна практика***

ПРН13. Розуміти основні методики проектування і дослідження в теплоенергетиці, а також їх обмеження.

– здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів не доброчесності

**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  $i$ -діаграмі. Процеси з підводом та отводом механічної та теплової енергії, їх зображення в  $i$ -діаграмі. Рівняння тепловміщення та Бернуллі для течії у відносному русі.

#### **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 ґраток, зв'язок кінематики потоку з геометричними параметрами ґраток. Сили, що діють на лопатки турбомашини. Теорема М.Є. Жуковського про під'ємну силу профілю 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 ступенях компресора. Просторова течія в ступенях турбомашин.

#### **Тема 3. Ступінь осової 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 ступеня турбіни дозвуковою течією. 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,  $\bar{d}_{вт}$ . 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.

#### **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.

## **Модульний контроль**

## 4. Структура навчальної дисципліни

1	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
		Л	п	лаб.	с. р.
	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовний модуль 1.</b>					
<i>Загальні питання теорії лопаткових машин</i>					
Тема 1. Загальні питання теорії лопаткових машин (ЛМ)	22	8	4	–	10
<b>Разом за модулем 1</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>10</b>
<b>Змістовний модуль 2.</b>					
<i>Ізольовані ступені компресора і турбіни. Гратки профілів</i>					
Тема 2. Ступінь осьового компресора	22	8	4	–	10
Тема 3. Ступінь осьової газової турбіни	8	4	–	–	4
Тема 4. Характеристики лопаткових машин	8	4	–		4
<b>Модульний контроль</b>					
<b>Разом за модулем 2</b>	<b>38</b>	<b>16</b>	<b>4</b>		<b>18</b>
<b>Модуль 2</b>					
<b>Змістовний модуль 3.</b>					
<i>Ступінь відцентрового компресора</i>					
Тема 5. Ступінь відцентрового компресора	6	4	–		2
<b>Разом за модулем 3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>–</b>		<b>2</b>
<b>Змістовний модуль 4.</b>					
<i>Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання</i>					
Тема 6. Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання	32	12	–	–	20
<b>Разом за модулем 4</b>	<b>32</b>	<b>12</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>20</b>
<b>Змістовний модуль 5.</b>					
<i>Багатоступеневі осьові газові турбіни, радіальні турбіни та їх регулювання</i>					
Тема 7. Багатоступеневі осьові газові турбіни, радіальні турбіни та їх регулювання	22	8	–	–	14
<b>Модульний контроль</b>					
<b>Разом за модулем 5</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>14</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>48</b>	<b>8</b>		<b>64</b>



### 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
<b>Разом</b>		<b>8</b>

### 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 степені реактивності.	22
<b>Разом</b>		<b>64</b>

### 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
<b>Модуль 1</b>			
Виконання РР	0...6		0...6
Захист РР	0...8		0...8
Складання модульного контролю			0...36
<b>Разом за Модуль 1</b>			<b>0...50</b>
<b>Модуль 2</b>			
Робота на практичних заняттях	0...4		0...4
Складання модульного контролю			0...46
<b>Разом за Модуль 2</b>			<b>0...50</b>
<b>Всього за семестр</b>			<b>0...100</b>

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

**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 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=](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.
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.
5. Конспект лекцій з ТРЛМ на платформі Ментор

**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>.