

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

Кафедра *конструкції авіаційних двигунів (№ 203)*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми



(підпис)

*Сергій НИЖНИК*

(ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА *ОБОВ'ЯЗКОВОЇ*  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

***Конструкція АД та ЕУ***

(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»*

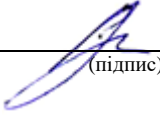
(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: *перший (бакалаврський)***

**Харків 2023 рік**

Розробник Олександр ГАРКУША, доцент каф. 203, к.т.н.  
(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)

  
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри  
Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)  
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 28 » серпня 2023 р.

Завідувач каф. 203 д.т.н., професор  Сергій СПИФАНОВ  
(науковий ступінь і вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4	<p><b>Галузь знань</b> <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр і найменування)</p> <p><b>Спеціальність</b> <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код і найменування)</p> <p><b>Освітня програма</b> <u>«Авіаційні двигуни та енергетичні установки»</u> (найменування)</p> <p><b>Рівень вищої освіти</b> <u>перший (бакалаврський)</u></p>	Обов'язкова
Кількість модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістових модулів – 1		2023 / 2024
<b>Індивідуальне завдання</b> <i>Розрахункова робота на тему: «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна»</i> (назва)		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 64*/120		6(4)-й
<b>Кількість тижневих годин для денної форми навчання:</b>  аудиторних – 4  самостійної роботи студента – 3,5		<b>Лекції</b> *
		32 год.
		<b>Практичні, семінарські</b> *
		32 год.
		<b>Лабораторні</b> *
	–	
	<b>Самостійна робота</b>	
	56 год.	
	<b>Вид контролю</b>	
	модульний контроль, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання: 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 здобувачами знань з конструкції авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), розрахунків на міцність деталей ГТД, норм міцності, конструкційних матеріалів, які використовуються у двигунах.

**Завдання:** вивчення конструкції авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) та розрахунків на міцність деталей ГТД.

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

**Загальні компетентності:** ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). ЗК7. Здатність приймати обґрунтовані рішення. ЗК8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**Спеціальні (фахові) компетентності:** ФК 1. Здатність використовувати теорії польоту та керування при проектуванні об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки. ФК 3. Здатність призначити оптимальні матеріали для елементів конструкції авіаційної та ракетно-космічної техніки. ФК 4. Здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність. ФК 5. Здатність проектувати та здійснювати випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

**Програмні результати навчання:** ПРН4. Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі.

ПРН9. 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.

ПРН10. Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу.

ПРН16. Обчислювати напружено-деформований стан, визначити несійну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ПРН17. Розуміти та обґрунтовувати послідовність проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ПРН19. Розуміти та обґрунтовувати особливості конструкції та основні аспекти робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

**Пререквізити** – Вища математика, Фізика, Теорія повітряно-реактивних двигунів, Деталі машин та основи конструювання, Загальний устрій авіаційних двигунів і енергетичних установок, Термодинаміка і теплообмін, Інженерне матеріалознавство, Авіаційне матеріалознавство, Конструкція і динаміка АД та ЕУ.

**Кореквізити** – Комп'ютерно-інтегровані системи проектування, Надійність і ресурс АД та ЕУ.

## 3. Програма навчальної дисципліни

### Модуль 1

#### Змістовий модуль 1

**ТЕМА 1.** Класифікація реактивних двигунів, Головні параметри авіаційних ГТД. Вимоги, які ставляться до ГТД. Переваги та недоліки різних типів двигунів. Головні вузли та цикли ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД, Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів.

**ТЕМА 2.** Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Ротори барабанного типу, конструкція. Розрахунок на міцність ротора

барабанного типу. Конструктивні особливості роторів барабанно-дискового типу. Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.

**ТЕМА 3.** Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін. Визначення температури лопаток турбін. Конструкція вузлів, що з'єднують вал турбіни з диском. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.

**ТЕМА 4.** Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил. Напруження при згинанні лопаток, запаси міцності. Крутіння лопатки.

**ТЕМА 5.** Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Рішення головних розрахункових рівнянь диску на міцність методом скінченних різниць. Вплив на напруження в диску центрального отвору в ньому. Вплив на напруження в диску нерівномірного нагріву диска за радіусом. Особливості розрахунку дисків з стрибкоподібним змінням товщини та дисків відцентрових компресорів. Визначення запасу міцності диска за руйнуючою частотою обертання.

**ТЕМА 6.** Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей камер згоряння.

**ТЕМА 7.** Силкові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силкові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.

**ТЕМА 8.** Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла. Сили, які діють на елементи реактивного сопла. Теплоізоляція та охолодження сопел. Реверс тяги. Пристрої для шумоглушення. Форсажні камери.

**ТЕМА 9.** Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація. Кінематична схема редуктора для привода одного повітряного гвинта. Вимірочасні крутильного моменту. Кінематична схема редуктора для привода двох соосних гвинтів. Конструкція редукторів. Розрахунок на міцність вала повітряного гвинта.

#### Модульний контроль

#### Іспит

### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
л		п	лаб	с.р.	
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>ТЕМА 1.</b> Головні вузли та цикл ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД.	12	4	4	-	4
<b>ТЕМА 2.</b> Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	12	4	4	-	4
<b>ТЕМА 3.</b> Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	12	4	4	-	4
<b>ТЕМА 4.</b> Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	14	4	4	-	6
<b>ТЕМА 5.</b> Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	14	4	4	-	6
<b>ТЕМА 6.</b> Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	12	4	4	-	4

<b>ТЕМА 7.</b> Силкові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силкові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	9	3	2	-	4
<b>ТЕМА 8.</b> Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	10	2	4	-	4
<b>ТЕМА 9.</b> Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.	8	2	2	-	4
<b>Модульний контроль</b>	1	1	-	-	-
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>104</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		<b>40</b>
<b>Розрахункова робота на тему:</b> <i>«Розробка вузла компресора авіаційного ГТД»</i>	<b>16</b>	-	-	-	<b>16</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	-	<b>56</b>

### 5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		-
	<b>Разом</b>	-

### 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Загальне знайомство з конструкцією ТРД, ТРДД, ТГД, ТВад, ТРДД різних поколінь, які знаходяться на кафедрі.	4
2	Вивчення конструкції осьових компресорів авіаційних ГТД.	4
3	Газові турбіни авіаційних ГТД.	4
4	Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	4
5	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	4
6	Силкові системи ротора і статора ГТД.	4
7	Камери згоряння авіаційних ГТД.	2
8	Вихідні пристрої ГТД. Форсажні камери ТРДФ.	4
9	Редуктори ГТД та турбовальних двигунів.	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

### 6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Головні вузли та силкові системи ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД.	4
2	Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	4
3	Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	4
4	Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	6
5	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	6
6	Силкові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силкові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	4

7	Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	4
8	Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	4
9	Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.	4
10	Виконання розрахункової роботи	16
	<b>Разом</b>	<b>56</b>

## 7. Індивідуальні завдання

**Розрахункова робота на тему:** «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна»

## 8. Методи навчання

*Основні форми навчання:*

- лекційна;
- практичні роботи;
- самостійна робота студента;
- іспит.

На лекціях студентів даються основні поняття, основи теорії, закономірності, необхідні для підготовки до виконання лабораторних робіт, самостійної роботи.

Лекція, розв'язує тільки одну дидактичну задачу – дає первісне знайомство з темою, організовує первісне сприйняття матеріалу, формулює основні проблеми.

Проведення практичних робіт базується на словесному (аналітичному) описанні об'єкта, а також й на матеріальному його відображенні за допомогою спеціальних дидактичних матеріалів (розрізні макети, плакати та ін.).

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції. Під час самостійної роботи студенти поглиблено вивчають лекційний матеріал, готуються до проведення лабораторних робіт.

## Питання для самостійної роботи студентів

### Модуль 1

#### Змістовий модуль 1

1. Класифікація ГТД, сфери застосування по висоті та швидкості польоту. Основні параметри ГТД. Ресурс двигуна, поняття про експлуатацію двигуна за його технічним станом, поняття про модульну конструкцію двигуна.

2. Компресори. Основні вимоги до конструкції компресорів ГТД. Конструктивні заходи, що розширюють діапазон сталої роботи осьових компресорів. Конструктивні параметри робочого колеса щаблі компресора. Класифікація компресорів, їх коротка характеристика. Конструктивні особливості роторів барабанно-дискового типу. Відцентрові компресори, особливості конструкції. Конструкційні матеріали, що застосовуються для лопаток, дисків та корпусів компресорів.

3. Газові турбіни. Класифікація газових турбін. Конструктивні заходи, створені задля підвищення ККД турбіни. Вимоги до вузла кріплення диска турбіни з валом, приклади з'єднання. Зміна радіального зазору між лопатками турбіни та корпусом. Охолодження робочих лопаток турбіни. Нові технологічні методи виробництва турбінних лопаток з метою підвищення їх жароміцності. Матеріали деталей газових турбін.

4. Робочі лопатки ГТД. Конструкція робочих лопаток компресорів і турбін, матеріали, що застосовуються. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил (на розтяг), визначення напруги розтягу методом чисельного інтегрування. Розрахунок на міцність лопаток від впливу газових сил (на вигин). Визначення згинальних моментів у площині обертання та в осьовій площині та напруги вигину. Вигин лопатки від дії відцентрових сил, коефіцієнти компенсації. Визначення запасу міцності лопатки.

Визначення температури робочої лопатки турбіни, що не охолоджується, поняття про межу тривалої міцності металу. Кручення лопатки відцентровими та газовими силами.

5. Розрахунок на міцність дисків роторів компресорів та турбін. Вирішення розрахункових рівнянь методом кінцевих різниць. Вибір нульових перерізів, визначення коефіцієнтів  $A_0$ ,  $B_0$ ,  $K_0$ ,  $Q_0$ . Визначення напруги у нульовому перерізі. Визначення напруги та запасів міцності в розрахункових перерізах. Вплив центрального отвору на напругу в диску. Вплив на напругу температурного перепаду радіусом диска. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини. Визначення запасу міцності диска за руйнівними оборотами (частотою обертання).

6. Силкові схеми роторів та корпусів ГТД. Газові сили та моменти, що діють на основні деталі двигунів, їх визначення. Розвантаження ротора компресора від осьової сили.

7. Камери згоряння ГТД, основні вимоги до них. Класифікація камер згоряння. Конструкція кільцевих та трубчастокільцевих камер згоряння. Форсажні камери ГТД, конструктивні схеми. Матеріали, що застосовуються.

8. Вихідні пристрої ГТД. Регульовані сопла. Схеми реверсивних пристроїв, поняття коефіцієнта реверсування. Пристрої для шумоглушіння.

9. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація та кінематичні схеми редукторів. Вимірювачі крутного моменту. Приводи агрегатів.

## 9. Методи контролю

Оформлення практичних робіт – *письмово*, захист – *усно*.

Семестр 6(4) – *іспит*.

## 10. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

### 10.1 Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...1	16	0...16
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	3...5	8	24...40
Модульний контроль	36...44	1	36...44
<b>Усього за семестр</b>			<b>60...100</b>

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Допуск до іспиту надається за умов відпрацювання та здачі усіх лабораторних робіт.

Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних запитань. Теоретичні запитання розподілено таким чином:

Перше запитання – змістовий модуль 1;

Друге запитання – тематика розрахунково-графічної роботи.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 50.

### 10.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

**знати:**

– типи авіаційних силових установок за способом створення рушійної сили та здійснення робочих процесів у двигуні;



- області їх застосування;
  - основні питомі параметри авіаційних двигунів;
  - вхідні пристрої. Будова, засоби підвищення ефективності роботи.;
  - повітряні лопаткові компресори ГТД: принцип, ефективність, сталість роботи;
  - газові турбіни ГТД: принцип, ефективність роботи, будова, засоби підвищення ефективності роботи;
  - конструкцію робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил;
  - конструкцію та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток компресорів. Конструкцію та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін;
  - камери згоряння ГТД. Принцип роботи, будова, засоби підвищення ефективності роботи;
  - вихідні пристрої ГТД. Принцип роботи, будова;
  - системи які забезпечують роботу двигуна;
- Вміти:**
- визначати загальну будову та робочі процеси різновидів авіаційних теплових двигунів;
  - виконувати оцінку призначення, будови та ефективності вузлів ГТД;
  - виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій, пропонувати шляхи їх вдосконалення.
  - Виконувати розрахунки на міцність робочих лопаток компресора.

### 10.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Вміти визначити тип двигуна за його натурним зразком або кресленням, тип компресора, турбіни і вихідного пристрою. Визначити кількість ступеней компресора і турбіни. Пояснити розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.

**Добре (75-89).** Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Вміти визначити тип двигуна за його натурним зразком або кресленням, тип компресора, турбіни і вихідного пристрою. Визначити кількість ступеней компресора і турбіни. Вміти визначити тип ротора компресора тип камери згоряння. Пояснювати умови та механізм виникнення напружень в робочих лопатках. Знати основні типи вихідних пристроїв.

**Відмінно (90-100).** Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре» і кількістю балів не менше 80). Повно знати основний та додатковий матеріал. Вміти визначити тип двигуна за його натурним зразком або кресленням, тип компресора, турбіни і вихідного пристрою. Визначити кількість ступеней компресора і турбіни. Вміти визначити тип ротора компресора тип камери згоряння. Пояснювати умови та механізм виникнення температурних напружень. Знати умови роботи лопаток, дисків та корпусів турбін, які спричинюють навантаження. Знати основні типи вихідних пристроїв та редукторів ГТД.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	Для іспиту	Для заліку
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
01-59	Незадовільно	Не зараховано

### 11. Методичне забезпечення

1. Методичні посібники для проведення лабораторних занять;
2. Навчальні плакати вузлів ГТД та поздовжні розрізи двигунів;
3. Макети повнорозмірних газотурбінних двигунів.

### 12. Рекомендована література

#### Базова

1. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность дисков компрессоров и турбин [Текст] / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х., ХАИ. – 2007. – 28 с.
2. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность рабочих лопаток компрессора и турбин [Текст] / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х., ХАИ. – 2006. – 28 с.

#### Допоміжна

1. Чигрин, В. С. Конструкция и прочность авиационных двигателей [Текст] : консп. лекций / В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», Запорожье : изд. АО «МОТОР СИЧ», 2017. – 420 с.
2. Гаркуша, А. И. Редукторы силовых установок вертолетов и турбовинтовых двигателей [Текст] / А. И. Гаркуша, В. С. Чигрин. – Х., ХАИ. – 2010. – 56 с.
3. Шошин Ю. С. Основные технические данные маршевых авиационных газотурбинных двигателей СССР, Украины, России [Текст] / Ю. С. Шошин. – Х., ХАИ. – 2007. – 74 с.

### 13. Інформаційні ресурси

Сайт бібліотеки ХАИ: <http://library.khai.edu>.

Сайт кафедри: <https://education.khai.edu/departament/203>; <https://k203.khai.edu>.