


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)

Михайло ОРЛОВСЬКИЙ  
(ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2023 р.

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

***КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ***

(назва навчальної дисципліни)

**Галузь знань:**

27 «Транспорт»

(шифр і найменування галузі знань)

**Спеціальність:**

272 «Авіаційний транспорт»

(код і найменування спеціальності)

**Освітня програма:**

Технічне обслуговування та ремонт  
повітряних суден і авіадвигунів

(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти:**

перший (бакалаврський)

(рівень освіти)

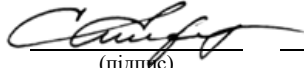
**Харків 2023 рік**

Розробник Олександр ГАРКУША, доц. каф. 203, к.т.н., доц.  
(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 кафедри д.т.н., професор  Сергій ЄПІФАНОВ  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)	
<b>Кількість кредитів</b> 4 сем. (120 опс ст) – 4 6 сем. (130 опс) – 5,5	<b>Галузь знань</b> 27 «Транспорт» (шифр і назва)	Обов'язкова	
Кількість модулів – 4	<b>Спеціальність:</b> 272 «Авіаційний транспорт» (шифр і назва)	<b>Навчальний рік</b> 2023 / 2024	
Кількість змістових модулів – 4		<b>Семестр</b>	
<b>Індивідуальне завдання</b>		4 сем.	6 сем.
(назва)		<b>Групи</b>	
<b>Загальна кількість годин</b> 4 сем. (120 опс ст) – 56*/120 6 сем. (130 опс) – 80*/165		120 опс ст	130 опс
<b>Кількість тижневих годин для денної форми навчання:</b>  аудиторних – 4 сем. (120 опс ст) – 3,5 6 сем. (130 опс) – 5  самостійної роботи студента – 4 сем. (120 опс ст) – 4 6 сем. (130 опс) – 5,3		<b>Освітня програма:</b> <u>Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів</u>  <b>Рівень вищої освіти:</b> <u>перший (бакалаврський)</u>	<b>Лекції*</b>
	32 год.		48 год.
	<b>Практичні, семінарські*</b>		
	24 год.		32 год.
	<b>Лабораторні*</b>		
	–		
	<b>Самостійна робота</b>		
	64 год.		85 год.
<b>Вид контролю</b>			
модульний контроль, іспит	модульний контроль, залік		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:  
для денної форми навчання:  
4 семестр (120 опс ст) – 56 / 64  
6 семестр (130 опс) – 80 / 85

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

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета:** дати студентам знання про елементи конструкції планера ЛА, про шляхи зниження маси конструкції, про забезпечення міцності при проектуванні та експлуатації.

**Завдання:** надати знання про елементи конструкції планера ЛА, про шляхи зниження маси конструкції, про забезпечення міцності при проектуванні та експлуатації.

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

**Інтегральна компетентність:** *Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у професійній діяльності у сфері авіаційного транспорту або у процесі подальшого навчання із застосуванням положень, теорій та методів природничих, технічних, інформаційних та соціально-економічних наук, що характеризується комплексністю та невизначеністю умов.*

### Загальні компетентності (ЗК):

*ЗК 03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. ЗК 04. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні. ЗК 05. Здатність розробляти та управляти проектами. ЗК 07. Здатність працювати автономно. ЗК 08. Здатність працювати в команді.*

### Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):

*СК 01. Здатність дотримуватися у професійній діяльності вимог міжнародних та національних нормативно-правових документів в галузі авіаційного транспорту, інструкцій та рекомендацій з експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів авіаційного транспорту та їх систем.*

*СК 02. Здатність аналізувати об'єкти авіаційного транспорту та їх складові, визначати вимоги до їх конструкції, параметрів та характеристик.*

*СК 03. Здатність здійснювати експериментальні дослідження та вимірювання параметрів та характеристик об'єктів авіаційного транспорту, їх агрегатів, систем та елементів.*

*СК 04. Здатність розробляти та впроваджувати (технологічні процеси, технологічне устаткування і технологічне оснащення, засоби автоматизації та механізації при виробництві, експлуатації, ремонті та обслуговуванні об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів.*

*СК 05. Здатність розробляти та впроваджувати у виробництво технологічні процеси будівництва, експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів авіаційного транспорту, їх систем, оформлювати відповідну документацію, інструкції, правила та методики.*

*СК 06. Здатність розробляти з урахуванням безпечних умов використання, міцнісних, естетичних, ергономічних і економічних параметрів технічні завдання і технічні умови на проектування об'єктів авіаційного транспорту, його систем та окремих елементів; складати плани розміщення устаткування, технічного оснащення та організації робочих місць, розраховувати завантаження устаткування та показники якості продукції.*

*СК 07. Здатність аналізувати технологічні процеси виробництва й ремонту об'єктів авіаційного транспорту.*

*СК 08. Здатність організовувати експлуатацію об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів, з обґрунтуванням структури управління експлуатацією, технічного обслуговування та ремонту.*

*СК 09. Здатність організовувати виробничу діяльність структурних підрозділів авіаційних підприємств та заводів, малих колективів виконавців (бригад, дільниць, цеху), щодо виробництва, експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів, включаючи обґрунтування технології виробничих процесів.*

*СК 10. Здатність застосовувати методи та засоби технічних вимірювань, технічні регламенти, стандарти та інші нормативні документи при технічному діагностуванні об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів.*

*СК 11. Здатність застосовувати сучасні програмні засоби для розробки проектно-конструкторської та технологічної документації зі створення, експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів.*

*СК 12. Здатність організовувати дію системи звітності та обліку (управлінського, статистичного, технологічного) роботи об'єктів та систем авіаційного транспорту, здійснювати діловодство, документування та управління якістю згідно нормативно-правових актів, інструкцій та методик.*

*СК 13. Здатність аналізувати техніко-економічні та експлуатаційні показники об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів з метою виявлення та усунення негативних чинників та підвищення ефективності виробничого процесу.*

*СК 14. Здатність організовувати власну роботу, роботу підлеглих та підпорядкованих підрозділів відповідно до вимог охорони праці, техніки безпеки та протипожежної безпеки на об'єктах авіаційного транспорту при їх побудові, виробництві, експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті.*

*СК 15. Здатність організовувати та виконувати взаємодію між задіяними підрозділами та службами з експлуатації засобів авіаційного транспорту та наземного забезпечення польотів авіації відповідно до встановлених технічних регламентів.*

*СК 16. Здатність враховувати метеорологічні, кліматичні, сейсмічні та інші природні фактори при проектуванні, експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті об'єктів авіаційного транспорту.*

*СК 17. Здатність ведення технічної документації та складання звітності за встановленими формами.*

*СК 18. Здатність вирішення завдань з планування технічної експлуатації повітряних суден, експлуатаційної надійності, регулярності польотів.*

### **Програмні результати навчання (РН):**

*РН 01. Здійснювати професійну діяльність у соціальній взаємодії оснований на гуманістичних і етичних засадах.*

*РН 12. Визначати параметри об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів шляхом проведення вимірального експерименту з оцінкою його результатів.*

*РН 14. Розробляти і впроваджувати у виробництво документацію щодо технологічних процесів будівництва, експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та інших інструктивних вказівок, правил та методик.*

*РН 15. Знати особливості та вміти розробляти технічні завдання і технічні умови на проектування об'єктів авіаційного транспорту, його систем та окремих елементів; складати плани розміщення устаткування, технічного оснащення та організації робочих місць, розраховувати завантаження устаткування та показники якості продукції.*

*РН 16. Виконувати розрахунок основних характеристик та параметрів технологічних процесів виробництва й ремонту об'єктів авіаційного транспорту.*

*РН 17. Розуміти і вдосконалювати структуру управління експлуатацією, технічного обслуговування та ремонту об'єктів авіаційного транспорту, його систем та окремих елементів.*

*РН 20. Розробляти проектно-конструкторську та технологічну документацію зі створення, експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів, використовуючи спеціалізовані сучасні програмні засоби.*

*РН 21. Знати та розраховувати основні показники звітності та обліку (управлінського, статистичного, бухгалтерського та фінансового) підприємства під час експлуатації та ремонту об'єктів та систем авіаційного транспорту.*

*РН 22. Розрахувати техніко-економічні та експлуатаційні показники об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів.*

*РН 23. Знати основні вимоги охорони праці, техніки безпеки, протипожежної безпеки та санітарно-гігієнічного режиму при здійсненні професійної діяльності.*

*РН 26. Аналізувати технічну документацію та звітність за встановленими формами.*

*РН 27. Планувати вирішення завдань з технічної експлуатації повітряних суден, експлуатаційної надійності, регулярності польотів.*

**Пререквізити** – Вища математика, Фізика, Деталі машин та основи конструювання, Термодинаміка і теплообмін, Хімія і основи екології, Конструкція та міцність літальних апаратів, Ресурс та довговічність авіаційної техніки, Інженерне матеріалознавство, Авіаційне матеріалознавство, Механіка матеріалів та конструкцій.

**Кореквізити** – Діагностика та системи контролю технічного стану повітряних суден та авіадвигунів, Конструкція та міцність літальних апаратів, Ресурс та довговічність авіаційної техніки.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

#### Модуль 1

##### Змістовий модуль № 1

###### Лекційні заняття

**ТЕМА 1.** Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Класифікація авіаційних двигунів. Головні параметри авіаційних ГТД. Вимоги, які ставляться до ГТД. Переваги та недоліки різних типів двигунів. Вимоги до двигунів різного призначення, вимоги норм льотної гідності (АП-33, FAR). Спільна робота двигуна на літальному апараті.

**ТЕМА 2.** Призначення, умови роботи та вимоги до компресорів АД та ЕУ. Класифікація компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Осьові та відцентрові компресори. Конструктивні схеми осьових компресорів. Вимоги до конструкції компресора та шляхи їх реалізації. Типи роторів осьових компресорів, їх порівняльна оцінка. Конструкція робочих лопаток компресора та вузлів їх кріплення. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Навантаження, що діють на ротор компресора. Статори компресорів. Зазори між ротором і статором. Ущільнення проточної частини компресорів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Конструкційні матеріали осьових компресорів. Відцентрові компресори, їх недоліки та переваги. Класифікація відцентрових компресорів. Конструкція елементів відцентрових компресорів. Особливості експлуатації компресорів. Конструкційні матеріали для відцентрових компресорів.

**ТЕМА 3.** Призначення, умови роботи та вимоги до турбін АД і ЕУ. Класифікація газових турбін. Параметри, які характеризують досконалість конструкції вузла турбіни. Робочі лопатки турбін, засоби їх сполучення з диском. Диски турбін, їх сполучення між собою та з валом. Статори газових турбін. Соплові апарати, умови роботи, силові схеми та засоби кріплення до корпусів. Корпуси газових турбін. Охолодження деталей турбін. Зазори проміж ротором і статором. Контактні та витратні ущільнення. Розрахунок витрати повітря скрізь лабіринтне ущільнення. Особливості експлуатації газових турбін. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.

**ТЕМА 4.** Розрахунки на міцність лопаток і дисків компресорів та турбін.

**Модульний контроль.**

#### Модуль 2

##### Змістовий модуль № 2

###### Лекційні заняття

**ТЕМА 5.** Основні та форсажні камери згоряння. Класифікація, умови роботи, вимоги до конструкції, визначення головних геометричних розмірів. Конструктивні схеми камер згоряння ГТД. Конструкція елементів камери згоряння. Охолодження деталей, боротьба з небезпечними температурними напруженнями. Призначення та конструкція форсажних камер згоряння. Особливості експлуатації основних та форсажних камер згоряння. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей основних та форсажних камер згоряння.

**ТЕМА 6.** Вихідні та реверсивні пристрої. Вихідні пристрої ГТД, призначення, умови роботи, вимоги до вихідних пристроїв. Вихідні патрубки. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла. Сили, які діють на елементи реактивного сопла. Теплоізоляція та охолодження сопел. Реверсивні та девіаторні пристрої. Силова установка як джерело шуму та вібрації. Конструктивні методи зменшення рівня шуму. Проблема інфрачервоного випромінювання двигунів та засоби для її вирішення. Засоби зменшення емісії: вприскування води, каталізатори, конструктивні заходи, особливості їх використання в ГТД авіаційного призначення.

**ТЕМА 7.** Розрахунки на міцність та стійкість оболонок.

**ТЕМА 8.** Екологічні характеристики ГТД.

**ТЕМА 9.** Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД. Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів. Конструкції опор роторів ГТД. Сили інерції, які діють на вузли ГТД. Статичне та динамічне балансування роторів. Силові системи роторів і статорів. Трансмисії ГТД, конструкція з'єднувальних муфт. Джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ. Кріплення двигуна до літака або вертольота.

**Модульний контроль.**

### Модуль 3 Змістовий модуль № 3

#### Лекційні заняття

**ТЕМА 10.** Системи авіаційного двигуна. Система паливостачання двигуна. Умови роботи та вимоги до системи. Схеми систем. Основні елементи. Мастильні системи. Відміни конструкції мастильних систем ТРД, ТРДД, ТГД і гелікоптерних ТВаД. Агрегати мастильних систем. Типи мастильних матеріалів. Пускові системи авіаційних двигунів. Вимоги до пускової системи. Типи пускових пристроїв. Особливості експлуатації систем авіаційного двигуна.

#### Модульний контроль.

### Модуль 4 Змістовий модуль № 4

#### Лекційні заняття

**ТЕМА 11.** Експлуатаційні режими роботи ГТД. Поняття про сталі та перехідні режими. Рвучкість ГТД. Повна та часткова рвучкість. Визначення терміну рвучкості. Скидання частоти обертання ротору ГТД. Повне і часткове дроселювання. Визначення терміну скидання. Зміна основних параметрів під час рвучкості і скидання. Коливання лопаток, дисків, валів та оболонок. Види та форми коливань лопаток. Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін. Визначення частоти першої форми власних коливань моделі лопатки (плоскої пластини) за методом Релея. Вплив форми лопатки та умов її роботи на частоту вільних коливань. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань лопаток. Джерела змінних сил, що примушують лопатку коливатися. Визначення резонансних режимів. Побудова та аналіз частотної діаграми для робочої лопатки компресора або турбіни. Методи демпфування коливань лопаток. Автоколивання лопаток. Особливості коливань лопаток відцентрових компресорів. Загальні поняття про коливання круглих пластин та дисків. Види і форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань дисків. Критичні частоти обертання дисків. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін. Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок. Фактори, які впливають на частоті коливань тонкостінних оболонок. Коливання валів ГТД.

#### Модульний контроль.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	Усього 120опс ст. (130опс)	у тому числі			
		л 120опс ст. (130опс)	лаб 120опс ст. (130опс)	п 120опс ст. (130опс)	с.р. 120опс ст. (130опс)
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1 Змістовий модуль 1</b>					
Вступ до дисципліни. Класифікація, головні параметри авіаційних ГТД. Спільна робота двигуна на літальному апараті. Вимоги АП-33 до двигунів	7 (11)	1 (2)	-	2 (4)	4 (5)
Компресори АД та ЕУ	12 (17)	3 (7)	-	4 (4)	5 (6)
Газові турбіни	11 (12)	2 (2)	-	4 (4)	5 (6)
Розрахунки на міцність лопаток і дисків компресорів та турбін	5 (7)	1 (2)	-	-	4 (5)
<b>Модульний контроль</b>	1	1	-	-	-
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>36 (48)</b>	<b>8 (14)</b>	<b>-</b>	<b>10 (12)</b>	<b>18 (22)</b>

<b>Модуль 2</b>					
<b>Змістовий модуль 2</b>					
Основні камери згоряння	8 (11)	2 (4)	-	2 (2)	4 (5)
Форсажні камери згоряння	4 (7)	1 (2)	-	1 (2)	2 (3)
Вихідні та реверсивні пристрої	6 (9)	1 (2)	-	1 (2)	4 (5)
Розрахунки на міцність та стійкість оболонок	3 (5)	1 (2)	-	-	2 (3)
Екологічні характеристики ГТД	5 (7)	1 (2)	-	-	4 (5)
Силові системи, трансмісії та основні фактори навантаження, що діють на деталі авіаційних ГТД	7 (7)	1 (1)	-	2 (2)	4 (4)
<b>Модульний контроль</b>	1	1	-	-	-
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>34 (47)</b>	<b>8 (14)</b>	-	<b>6 (8)</b>	<b>20 (25)</b>
<b>Модуль 3</b>					
<b>Змістовий модуль 3</b>					
Системи авіаційного двигуна. Система паливопостачання двигуна. Умови роботи та вимоги до системи. Схеми систем. Основні елементи.	8 (11)	2 (3)	-	2 (2)	4 (6)
Мастильні системи. Відміни конструкції мастильних систем ТРД, ТРДД, ТГД і гелікоптерних ТВАД. Агрегати мастильних систем. Типи мастильних матеріалів.	8 (13)	3 (5)	-	1 (2)	4 (6)
Пускові системи авіаційних двигунів. Вимоги до пускової системи. Типи пускових пристроїв. Особливості експлуатації систем авіаційного двигуна.	7 (11)	2 (3)	-	1 (2)	4 (6)
<b>Модульний контроль</b>	1	1	-	-	-
<b>Разом за змістовим модулем 3</b>	<b>24 (36)</b>	<b>8 (12)</b>	-	<b>4 (6)</b>	<b>12 (18)</b>
<b>Модуль 4</b>					
<b>Змістовий модуль 4</b>					
Експлуатаційні режими роботи ГТД. Поняття про сталі та перехідні режими. Рвучкість ГТД. Повна та часткова рвучкість. Визначення терміну рвучкості. Скидання частоти обертання ротору ГТД. Повне і часткове дроселювання. Визначення терміну скидання. Зміна основних параметрів під час рвучкості і скидання.	6 (8)	2 (2)	-	-	4 (6)
Види та форми коливань лопаток.	6 (8)	2 (2)	-	1 (2)	3 (4)
Види і форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння.	8 (10)	2 (2)	-	2 (2)	4 (6)
Коливання валів ГТД.	5 (7)	1 (1)	-	1 (2)	3 (4)
<b>Модульний контроль</b>	1	1	-	-	-
<b>Разом за змістовим модулем 4</b>	<b>26 (34)</b>	<b>8 (8)</b>	-	<b>4 (6)</b>	<b>14 (20)</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120 (165)</b>	<b>32 (48)</b>	-	<b>24 (32)</b>	<b>64 (85)</b>

### 5. Темі семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	<b>Разом</b>	<b>0</b>



### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		120опс ст	130опс
1	Конструктивно-компонувальні схеми ГТД	2	4
2	Конструкція осьових та відцентрових компресорів авіаційних ГТД	4	4
3	Конструкція газових турбін авіаційних ГТД	4	4
4	Конструкція основних і форсажних камер згоряння	3	4
5	Конструкція вихідних пристроїв авіаційних ГТД	1	2
6	Силові системи, трансмісії авіаційних ГТД	2	2
7	Системи ГТД (паливна, мастильна, пускова). Основні вузли та агрегати систем	4	6
8	Експериментальне дослідження коливань лопаток, дисків, оболонок та валів ГТД	4	6
	<b>Разом</b>	<b>24</b>	<b>32</b>

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	<b>Разом</b>	<b>0</b>

### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		120опс ст	130опс
1	Конструктивно-компонувальні схеми ГТД	4	5
2	Компресори АД та ЕУ	5	6
3	Газові турбіни	5	6
4	Розрахунки на міцність лопаток і дисків компресорів та турбін	4	5
5	Основні та форсажні камери згоряння	6	8
6	Вихідні та реверсивні пристрої	4	5
7	Розрахунки на міцність та стійкість оболонок	2	3
8	Силові системи, трансмісії та основні фактори навантаження, що діють на деталі авіаційних ГТД	4	5
9	Системи ГТД (паливна, мастильна, пускова). Основні вузли та агрегати систем	12	18
10	Дослідження коливань лопаток, дисків, оболонок та валів ГТД	14	20
11	Екологічні характеристики ГТД	4	4
	<b>Разом</b>	<b>64</b>	<b>85</b>

### 9. Індивідуальні завдання

Немає.

### 10. Методи навчання

*Основні форми навчання:*

- лекційна;
- практичні роботи;
- самостійна робота;
- іспит (залік).

На лекції студентам 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 лабораторних робіт базується на словесному (аналітичному) описанні об'єкта (двигуна або вузла) й на матеріальному його відображенні за допомогою спеціальних дидактичних матеріалів (розрізні макети, плакати лабораторні досліджувані установки та ін.). Під час проведення лабораторних робіт використовується бригадний характер праці студентів.

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, виконують домашню розрахунково-графічну роботу.

### Питання для самостійної роботи студентів

1. Класифікація реактивних двигунів. Сфери застосування двигунів різних типів.
2. Покоління в розвитку ГТД. Класифікація ГТД за їх конструктивно-компонувальними схемами.
3. Обмеження, що накладаються двигуном на характеристики літального апарату.
4. Типи конструктивних компонок ГТД. Сфери застосування ГТД різних типів.
5. Принципи утворення тяги ПРД. Основні питомі і інтегральні параметри ГТД.
6. Основні вимоги, що пред'являються до авіаційних ГТД.
7. Сили і моменти, що діють на елементи ГТД. Статичне і динамічне балансування роторів.
8. Призначення компресорів ГТД. Основні конструктивні параметри компресорів.
9. Класифікація, порівняльна оцінка і сфери застосування компресорів різних типів.
10. Конструктивні схеми осьових компресорів.
11. Вимоги, що пред'являються до конструкції компресора ГТД, шляхи їх реалізації.
12. Конструкція роторів осьових компресорів.
13. Робочі лопатки компресорів, вимоги до них. Кріплення робочих лопаток до ротора.
14. Навантаження, що діють на ротор осьового компресора.
15. Осьові газодинамічні сили, що діють на ротор осьового компресора. Способи зниження осьової сили, що діє на радіально-упорний підшипник компресора.
16. Конструкція статорів осьових компресорів.
17. Проміжки між ротором і статором в осьовому компресорі. Ущільнення проточної частини.
18. Витратні і безвитратні ущільнення. Розрахунок витоків в лабіринтовому ущільненні.
19. Конструктивні заходи по підвищенню газодинамічної стійкості осьового компресора.
20. Конструкційні матеріали, вживані для виготовлення осьових компресорів ГТД.
21. Класифікація відцентрових компресорів, сфери їх застосування.
22. Конструкція елементів відцентрового компресора, конструкційні матеріали.
23. Призначення і умови роботи газових турбін ГТД. Основні вимоги, що пред'являються до конструкції газової турбіни ГТД.
24. Конструктивні схеми і параметри газових турбін ГТД.
25. Конструкція робочих лопаток газових турбін і їх вузлів кріплення.
26. Диски газових турбін, з'єднання їх між собою і з валом.
27. Конструкція статорів газових турбін ГТД.
28. Проміжки між ротором і статором в газовій турбіні ГТД. Ущільнення проточної частини турбіни.
29. Охолодження робочих і соплових лопаток газових турбін ГТД.
30. Охолодження дисків і корпусів газових турбін ГТД.
31. Конструкційні матеріали для деталей газових турбін ГТД.
32. Навантаження, що діють на робочу лопатку компресора або турбіни. Розрахункові режими роботи двигуна для розрахунку лопатки на міцність.
33. Визначення напруги розтягування в перерізах пера робочої лопатки від дії відцентрових сил.
34. Призначення і умови роботи основних камер згоряння ГТД. Вимоги до конструкції основних камер згоряння.
35. Організація робочого процесу в основній камері згоряння ГТД. Конструкційні матеріали.
36. Класифікація основних камер згоряння ГТД.
37. Елементи конструкції основних камер згоряння ГТД.

38. Навантаження, що діють на елементи основної камери згоряння ГТД.
39. Заходи, що забезпечують надійну роботу основних камер згоряння ГТД.
40. Призначення форсажних камер ГТД. Умови роботи, вимоги до форсажних камер.
41. Призначення і конструкція фронтального пристрою форсажної камери ГТД.
42. Камера горіння форсажної камери. Конструкційні матеріали. Способи попередження вібраційного горіння в форсажній камері.
43. Розпалювання форсажної камери ГТД. Заходи з підтримки стійкого горіння в форсажній камері.
44. Призначення і склад вихідних облаштувань ГТД. Умови роботи, вимоги до вихідних пристроїв.
45. Конструкція вихідних пристроїв ТГД і вертолїтних ГТД.
46. Призначення принцип роботи і конструкція камер змішення ТРДД.
47. Конструкція регульованих і нерегульованих дозвукових сопел.
48. Принцип роботи ежекторного сопла і сопла з розривом потоку в критичному перерізі.
49. Конструкція надзвукових регульованих сопел. Синхронізація роботи гідроциліндрів.
50. Принцип роботи плоских сопел, їх переваги і недоліки.
51. Призначення і конструкція реверсивних і девіаторних пристроїв.
52. Принцип роботи шумопоглинаючих облаштувань ГТД і пристроїв для зниження рівня інфрачервоного випромінювання.
53. Силові системи корпусів ГТД. Навантаження, що діють на силову систему корпусу.
54. Способи передання навантажень по елементах силового корпусу ГТД.
55. Вузли кріплення двигуна до літального апарату.
56. Схеми силових систем роторів ГТД. Навантаження, що діють на силову систему ротора.
57. Конструкція валів і сполучних муфт роторів ГТД.
58. Кріплення двигунів на літаках і вертольотах.
59. Експлуатаційні режими роботи ГТД. Поняття про режими, що встановилися, і перехідних режимах.
60. Рвучкість ГТД. Повна і часткова рвучкість. Визначення часу рвучкості.
61. Скидання частоти обертання ГТД. Повне і часткове дроселювання. Визначення часу скидання.
62. Зміна основних параметрів ГТД при рвучкості і скиданні.
63. Призначення пускових систем ГТД і вимоги до них. Процес запуску ГТД.
64. Склад пускової системи ГТД. Типи і порівняльна оцінка пускових облаштувань ГТД.
65. Призначення систем змащування ГТД, вимоги до систем змащування. Класифікація систем змащування. Типи вживаних мастил.
66. Схема циркуляційної нормально замкнутої системи змащування, основні елементи і їх призначення. Магістралі системи змащування.
67. Принцип роботи нагнітаючого шестерінчастого насоса, і насоса, що відкачує.
68. Призначення систем паливостачання, вимоги до них.
69. Схема системи паливостачання ТРДДФ, основні елементи і їх призначення.
70. Типи паливних насосів, їх порівняльна оцінка.
71. Принцип роботи відцентрової паливної форсунки, визначення витрати через форсунку. Засоби регулювання витрати палива.
72. Види і форми коливань робочих лопаток ГТД. Автоколивання лопаток типи вигиністо-крутильного флатеру.
73. Джерела збудження коливань лопаток ГТД. Резонансні режими, частотна діаграма.
74. Види і форми коливань дисків ГТД. Частотна діаграма для диску.
75. Види і форми коливань оболонок ГТД.
76. Коливання роторів ГТД. Критичні частоти обертання роторів. Поняття жорсткого і гнучкого ротора.
77. Склад шкідливих факторів, що створюються ГТД.
78. Засоби зменшення емісії CO і NOx.
79. Шум ГТД, його основні джерела, засоби зменшення.

## 11. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на чотири змістових модулі:

1. Конструктивно-компонувальні схеми ГТД, компресори та турбіни ГТД.
2. Основні і форсажні камери згоряння, вихідні пристрої, силові системи, трансмісії.
3. Системи ГТД (паливна, мастильна, пускова), основні вузли та агрегати систем.
4. Дослідження коливань лопаток, дисків, оболонки та валів ГТД.

**Складання модулю 1 – на 4-му тижні (один раз), складання модулю 2 – на 7-му тижні (один раз), складання модулю 3 – на 9-му тижні (один раз), складання модулю 4 – на 15-му тижні (один раз).**

До складання модулів студент допускається за умов виконання всіх видів обов'язкових робіт, передбачених у модулях.

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

Семестр 4 (б) – *іспит (залік)*.

## 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
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	3...5	5	15...25
Модульний контроль	5...6	1	5...6
<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	3...5	3	9...15
Модульний контроль	5...6	1	5...6
<b>Змістовний модуль 3</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	4...5	2	8...10
Модульний контроль	5...6	1	5...6
<b>Змістовний модуль 4</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	4...5	2	8...10
Модульний контроль	5...6	1	5...6
<b>Усього за семестр</b>			<b>60...100</b>

Семестровий контроль (іспит (залік)) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту (заліку). Допуск до іспиту (заліку) надається за умов відпрацювання та здачі усіх лабораторних робіт, а також виконання та успішного захисту домашнього завдання.

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

Білет для іспиту (заліку) складається з трьох запитань. Запитання розподілено таким чином:

Перше запитання – запитання з конструкції АД (змістовий модуль 1 або 2);

Друге запитання – системи ГТД (змістовий модуль 3);

Третє запитання – змістовий модуль 4.

Додаткове запитання стосується аналізу впливу конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей ГТД.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

## 12.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

### знати:

- роль і місце двигуна в проектуванні та конструюванні авіаційних літальних апаратів;
- порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань;
- обмеження діапазону використання літального апарата, які дає двигун;
- конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, вимоги норм льотної гідності, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей;
- статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна, конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності;
- методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність та коливання;
- призначення та роботу систем двигуна;
- особливості експлуатації двигунів та їхніх систем;
- сполучення параметрів літального апарата та двигуна.
- екологічні характеристики ГТД;
- умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна, газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД, Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів;
- конструкції опор роторів ГТД;
- сили інерції, які діють на вузли ГТД, статичне та динамічне балансування роторів;
- силові системи роторів і статорів, трансмісії ГТД, конструкція з'єднувальних муфт; кріплення двигуна до літака або вертольота;
- джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ;
- системи авіаційного двигуна, особливості експлуатації систем авіаційного двигуна;
- експлуатаційні режими роботи ГТД, сталі та перехідні режими, зміну основних параметрів двигуна під час рвучкості і скидання;
- коливання лопаток, дисків, валів та оболонок.

### вміти:

- обґрунтовувати вибір типу двигуна для конкретного літального апарата;
- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій двигунів;
- виконувати розрахунки на міцність та коливання основних деталей ГТД;
- формувати технічні вимоги щодо розробки двигуна для конкретного типу літального апарата;
- ураховувати навантаження, які діють на літальний апарат від двигуна;
- визначати статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна;
- обирати конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності;
- виконувати розрахунки основних деталей двигуна на міцність і коливання;
- аналізувати вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна;
- ураховувати навантаження, які діють на літальний апарат від двигуна.
- оцінювати вплив режимів роботи двигуна на напружено-деформований стан і втому його деталей.

## 12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Мати уяву про вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД різних типів; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; обмеження діапазону використання літального апарата, які дає двигун; матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність і коливання; знати системи авіаційного двигуна, особливості їх експлуатації; знати режими роботи двигуна, мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна та про вплив режимів роботи двигуна на напружено-деформований стан і втому його деталей.

**Добре (75-89).** Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД основних типів, вимоги до двигунів різного

призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; роль і місце двигуна в проектуванні та конструюванні авіаційних літальних апаратів; обмеження діапазону використання літального апарата, які дає двигун; сполучення параметрів літального апарата та двигуна; конструкцію вузлів двигунів та деталей; статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна, конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність та коливання; призначення та роботу систем двигуна; особливості експлуатації двигунів та їхніх систем; джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ; системи авіаційного двигуна, особливості їх експлуатації; експлуатаційні режими роботи ГТД, сталі та перехідні режими, зміну основних параметрів двигуна під час рвучкості і скидання; коливання лопаток, дисків, валів та оболонок; екологічні характеристики ГТД.

**Відмінно (90-100).** Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре»). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; роль і місце двигуна в проектуванні та конструюванні авіаційних літальних апаратів; обмеження діапазону використання літального апарата, які дає двигун; сполучення параметрів літального апарата та двигуна; конструкцію вузлів двигунів та деталей; статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна, конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність та коливання; призначення та роботу систем двигуна; особливості експлуатації двигунів та їхніх систем; джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ; системи авіаційного двигуна, особливості їх експлуатації; експлуатаційні режими роботи ГТД, сталі та перехідні режими, зміну основних параметрів двигуна під час рвучкості і скидання; коливання лопаток, дисків, валів та оболонок; екологічні характеристики ГТД.

### 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. Дидактичні матеріали (наочні посібники, плакати, ТЗН).
2. Розрізні макети газотурбінних двигунів і агрегатів в аудиторіях 103, 122 та 124.
3. Лабораторне обладнання лабораторії динаміки та міцності елементів ГТД.
4. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Чигрин В.С. Конструкция и прочность авиационных двигателей: консп. лекций / В. С. Чигрин. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2017. – 420 с.
2. Шошин Ю.С. Основные технические данные маршевых авиационных газотурбинных двигателей СССР, Украины, России. Учебное пособие. Харьков: ХАИ. 2007. – 74 с.
3. Шошин Ю.С. Компрессоры авиационных газотурбинных двигателей. Учебное пособие. Харьков: ХАИ. 2002. – 26 с.
4. Шошин Ю.С. Турбины авиационных газотурбинных двигателей. Учебное пособие. Харьков: ХАИ. 2003. – 37 с.
5. Гусев Ю.А. Конструкция камер сгорания газотурбинных двигателей. Учебное пособие. Харьков: ХАИ. 1990. – 31 с.

6. Чигрин В.С., Гаркуша А.И., Гусев Ю.А. Экспериментальные и расчетные методы исследования динамики и прочности элементов ГТД. Учебное пособие по лабораторному практикуму. Харьков: ХАИ, 2013. – 72 с.
7. Шошин Ю.С., Чигрин В.С. Конструкция форсажных камер и выходных устройств ГТД. Учебное пособие. Харьков: ХАИ, 2008. – 33 с.
8. Гаркуша А.И., Чигрин В.С. Динамика деталей газотурбинных двигателей (курс лекций). Харьков: ХАИ, 2013. – 126 с.
9. Шошин Ю.С., Чигрин В.С. Трансмиссии и силовые системы авиационных газотурбинных двигателей (учебное пособие по лабораторному практикуму). Харьков: ХАИ, 2011. – 42 с.
10. Чигрин В.С. Системы газотурбинных двигателей: учеб. пособие по лаб. практикуму. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 60 с.

#### **Допоміжна**

1. Нерубаский В.В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для магистральных пассажирских и транспортных самолетов. Часть 1. Двигатели большой тяги. Справочное пособие. Харьков: ХАИ, 2006. – 262 с.
2. Нерубаский В.В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для магистральных пассажирских и транспортных самолетов. Часть 2. Двигатели средней тяги. Справочное пособие. Харьков: ХАИ, 2007. – 378 с.
3. Нерубаский В.В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для региональных пассажирских, административных и учебно-тренировочных самолетов. Часть 3. Двигатели малой тяги. Справочное пособие. Харьков: ХАИ, 2008. – 217 с.
4. Технічні описи авіаційних газотурбінних двигунів.

#### **15. Інформаційні ресурси**

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

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