

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)

Л. Г. Бойко

(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ТА УСТАНОВОК (КП)**

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань

14 «Електрична інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність

142 «Енергетичне машинобудування»

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма

Газотурбінні установки і компресорні станції

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський

Харків 2021 рік

Розробник: Ю. О. Гусєв, к.т.н., професор
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
конструкції авіаційних двигунів (203)
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2021 р.

Завідувач кафедри 203, д.т.н., професор
(науковий ступінь і вчене звання) (підпис)



С. В. Єпіфанов

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів 2	Галузь знань _14 «Електрична інженерія» (шифр і найменування) Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування» (код і найменування) Освітня програма <u>Газотурбінні установки і компресорні станції</u> (найменування) Рівень вищої освіти: <u>перший бакалаврський</u>	Обов'язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2021/2022
Індивідуальне за-вдання		Семестр
Розрахункова робота на тему: _«Проектування вузла компресора або газогенератора проекту5(сфн)ованого двигуна».		7-й - основ. + FRL; 5-й (сфн)
(назва)		сфн- скорочена форма навчання
Загальна кількість годин – 7-й, 5-й (сфн) – 24 ауд./60;		Лекції*
		-
		Практичні, семінарські*
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи здобувача – 2		24годин
		Лабораторні*
		--
		Самостійна робота
		36 годин
		Вид контролю
		Діф. залік

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 6с – 24 ауд/ 36 сам;

*Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: надбання здобувачами знань з конструкції авіаційних газотурбінних двигунів.

Завдання: конструкції різних вузлів авіаційних двигунів та окремих деталей (компресорів, турбін, камер згоряння, та ін.), навантажень головних конструктивних елементів двигуна та методів розрахунків їх на міцність, конструкційних матеріалів.

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

Загальні компетентності: *Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. Здатність спілкуватися іноземною мовою. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). Здатність приймати обґрунтовані рішення. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *Здатність використовувати теорії динаміки польоту та керування при проектуванні об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Здатність використовувати положення гідравліки, аеро- та газодинаміки для опису взаємодії тіл з газовим і гідравлічним середовищем. Здатність призначати оптимальні матеріали для елементів конструкції авіаційної та ракетно-космічної техніки. Здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.*

Програмні результати навчання: *Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі. Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі. Володіти логікою та методологією наукового пізнання, що ґрунтується на розумінні сучасного стану і методології предметної області. Дотримуватися вимог галузевих нормативних документів щодо процедур проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки на всіх етапах їх життєвого циклу. 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. Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу. Розуміти принципи механіки рідини та газу, зокрема, гідравліки, аеродинаміки (газодинаміки). Описувати будову металів та неметалів та знати методи модифікації їх властивостей. Призначати оптимальні матеріали для елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки з урахуванням їх структури, фізичних, механічних, хімічних та експлуатаційних властивостей, а також економічних факторів. Застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проектування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки. Обчислювати напружено-деформований стан, визначати несійну здатність конструктивних елементів та надійність систем 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,

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1.

ТЕМА 1. Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність, основні припущення. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Оцінка міцності пера робочої лопатки.

ТЕМА 2. Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.

ТЕМА 3. Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовий модуль 2

ТЕМА 4. Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.

ТЕМА 5 Оформлення пояснювальної записки

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	лаб	п	с.р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність, основні припущення. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Оцінка міцності пера робочої лопатки.	12	-	-	8	4
ТЕМА 2. Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.	10	-	-	6	4
ТЕМА 3. Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.	8	-	-	4	4
Модульний контроль	-	-	-	-	-
Усього годин за змістовим модулем 1	30	-	-	18	12
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 4. Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.	16	-	-	6	10
ТЕМА 5. Оформлення пояснювальної записки	8	-	-	-	8
Модульний контроль	-	-	-	-	-
Усього годин за змістовим модулем 2	26	-	-	6	18
Усього годин у семестрі	60	-	-	24	36

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		0
	Разом	0

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність, основні припущення. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Оцінка міцності пера робочої лопатки.	6
2	Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.	6
3	Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.	6
4	Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.	6
	Разом	24

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		0
	Разом	0

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність.	6
2	Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.	6
3	Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми.	6
4	Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.	10
5	Оформлення пояснювальної записки.	8
	Разом	36

9. Індивідуальні завдання

10. Методи навчання

Основні форми навчання:

- практичні роботи;
- індивідуальна самостійна робота студента;
- *диф. залік.*

Проведення практичних 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 практичних робіт використовується бригадний характер праці студентів.

Основною формою навчання є самостійна робота.

При виконанні курсового проекту здійснюється практичне застосування одержаних знань з теоретичного матеріалу по курсу «Конструкція та міцність газотурбінних двигунів та установок», будова конструкції компресора ГТД та розрахунок на міцність і коливання деталей ГТД.

11. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістовних модулів:

1. Конструктивно-компоновочні схеми компресорів ГТД. Розрахунки на міцність лопаток компресорів та турбін. Розрахунок напружень в диску довільного профілю методом кінцевих різниць. Аналіз напружено-деформованого стану диска. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.

2. Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.

Складання модулю 1 – на 8-му тижні (один раз), складання модулю 2 – на 14-му тижні (один раз).

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

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

Строк захисту курсового проекту – 14-й тиждень. Затримка захисту курсового проекту на тиждень – мінус 5 балів, на 2 тижні – мінус 10 балів

Семестр 8 – *диф. залік*

11.1 Питання для самостійної роботи студентів

1. Призначення компресорів ГТД. Основні конструктивні параметри компресорів.
2. Вимоги до конструкції компресора ГТД, шляхи їх реалізації. Класифікація, порівняльна оцінка й галузі використання компресорів різних типів.
3. Конструктивні схеми осьових компресорів. Конструкція роторів осьових компресорів.
4. Робочі лопатки компресорів, вимоги до них. Кріплення робочих лопаток до ротора.
5. Навантаження, що діють на ротор осьового компресора. Осьові газодинамічні сили, які діють на ротор осьового компресора.
6. Засоби зниження осьової сили, яка діє на радіально-упорний підшипник компресора.
7. Конструкція статорів осьових компресорів. Проміжки проміж ротором і статором в осьовому компресорі.
8. Ущільнення проточної частини. Витратні й безвитратні ущільнення.
9. Конструктивні заходи з підвищення газодинамічної стійкості осьового компресора.
10. Конструкційні матеріали, що використовуються для виготовлення осьових компресорів ГТД.
11. Навантаження, що діють на робочі лопатки компресорів ГТД. Мета розрахунку лопаток на статичну міцність, основні припущення.

12. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Система координат і правило знаків.
13. Визначення напружень розтягування пера робочої лопатки від дії відцентрових сил.
14. Кручення пера робочої лопатки відцентровими силами.
15. Вигин пера робочої лопатки газовими силами.
16. Вигин пера робочої лопатки відцентровими силами.
17. Компенсація вигину пера робочої лопатки від дії газових сил моментом від дії відцентрових сил. Коефіцієнт компенсації.
18. Сумарні напруження в перерізах пера робочої лопатки компресора. Оцінка міцності пера робочої лопатки.
19. Особливості розрахунку на міцність природно закручених лопаток і лопаток з бандажною полицею.
20. Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску.
21. Особливості розрахунку диска з стрибкоподібним змінням товщини.
22. Еквівалентні напруження в диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності і за руйнуючими оборотами.
23. Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток.
24. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.

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			
Змістовний модуль 1			
Виконання і захист практичних робіт	2...3	9	18...27
Модульний контроль	6...13	1	6...13
Модуль 2			
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист практичних робіт	2...3	3	6...9
Модульний контроль	6...11	1	6...11
Захист курсового проекту	24...40	1	24...40
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (диф. залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку. Допуск до заліку надається за умов відпрацювання та здачі усіх практичних робіт, а також виконання курсового проекту.

Під час складання заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

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

Перше запитання – теоретичне запитання (змістовий модуль 1);

Друге запитання – запитання з конструкції АД (змістовий модуль 1);

Третє запитання – змістовий модуль 2.

Додаткове запитання стосується аналізу впливу конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей ГТД (змістовий модуль 1).

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

12.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- 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;
- порядок проектування авіаційного двигуна;
- конструкцію вузлів і деталей компресора двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації;
- статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД;
- методи розрахунків основних деталей компресора двигуна на міцність (лопаток, дисків, замків, валів);
- конструкційні матеріали, які використовуються у компресорі двигуна;

вміти:

- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій компресорів двигунів;
- формувати технічні вимоги щодо розробки компресора двигуна для конкретного типу літального апарата;
- обирати конструкційні матеріали, які використовуються у компресорі двигуна;
- виконувати розрахунки основних деталей компресора двигуна на міцність;
- аналізувати вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Виконати та захистити курсовий проект. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Мати уяву про конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, валів); режими роботи двигуна, мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре захистити курсовий проект. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, валів); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити курсовий проект. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре»). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати порядок проектування авіаційного двигуна, конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, валів); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

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

13. Методичне забезпечення

1. Дидактичні матеріали (наочні посібники, плакати, ТЗН).
2. Розрізні макети газотурбінних двигунів в аудиторіях 103 та 124.
3. Повчальні програми з розрахунків міцності лопаток і дисків ГТД.
4. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.
5. Повчальна програма з аналізу напружено-деформованого стану диска ГТД.
6. Повчальні програми з розрахунків коливань лопаток
7. <https://mentor.khai.edu/user/index.php?id=2793>

14. Рекомендована література**Базова**

1. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет деталей [Текст] / Г. С. Скубачевский. - М. : Машиностроение, 1981. – 552 с.
2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей [Текст] ; под ред. Д. В. Хромина. - М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
3. Конструкция авиационных двигателей [Текст] / А. В. Штода и др. – М. : изд. ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1968.
4. Чигрин, В. С. Конструкция и прочность авиационных двигателей [Текст] : консп. лекций / В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», Запорожье : изд. АО «МОТОР СИЧ», 2017. - 420 с.
5. Гаркуша, А.И. Динамика и прочность деталей газотурбинных двигателей [Текст]: курс лекций / А.И. Гаркуша, В.С. Чигрин. – Х.: Нац.аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 131 с.
6. Чигрин, В. С. Экспериментальные и расчетные методы исследования динамики и прочности элементов ГТД [Текст] / В. С. Чигрин, А. И. Гаркуша, Ю. А. Гусев. – Х., Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – 2013. – 72 с.
7. Шошин, Ю.С. Расчет на прочность рабочей лопатки компрессора или турбины: учеб. пособие / Ю.С. Шошин, С.В. Епифанов, Р.Л. Зеленский. – Х.: ХАИ, 2007. – 28 с.
8. Шошин, Ю.С. Расчет динамической частоты первой формы колебаний лопатки компрессора или турбины и построение частотной диаграммы: учеб. пособие / Ю.С. Шошин, С.В. Епифанов, Р.Л. Зеленский. – Х.: ХАИ, 2009. – 29 с.
9. Шошин, Ю.С. Расчет на прочность дисков компрессоров и турбин: учеб. пособие / Ю.С. Шошин, С.В. Епифанов, Р.Л. Зеленский. – Х.: ХАИ, 2007. – 28 с.

Допоміжна

1. Пономарев, Б. А. Настоящее и будущее авиационных двигателей [Текст] / Б. А. Пономарев - М. : Воениздат, 1982. – 240 с.
2. Нерубасский, В. В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для магистральных пассажирских и транспортных самолетов [Текст] : справ. пособие : в 4 ч. / В. В. Нерубасский. – Харьков : ХАИ, 2006. – Ч. 1: Двигатели большой тяги. – 261 с.

3. Нерубасский, В. В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для магистральных пассажирских и транспортных самолетов [Текст] : справ. пособие : в 4 ч. / В. В. Нерубасский. – Харьков : ХАИ, 2007. – Ч. 2: Двигатели средней тяги. – 378 с.

4. Нерубасский, В. В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для магистральных пассажирских и транспортных самолетов [Текст] : справ. пособие : в 4 ч. / В. В. Нерубасский. – Харьков : ХАИ, 2008. – Ч. 3: Двигатели малой тяги. – 217 с.

5. Нерубасский, В. В. Турбореактивные двухконтурные двигатели для магистральных пассажирских и транспортных самолетов [Текст] : справ. пособие : в 4 ч. / В. В. Нерубасский. – Харьков : ХАИ, 2011. – Ч. 4: Двигатели с форсажной камерой. – 284 с.

6. Технічні описи конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів.

15. Інформаційні ресурси

Електронні креслення поздовжніх розрізів двигунів, електронні посібники по лабораторним заняттям й програми ПЕОМ з розрахунків на міцність і коливання елементів ГТД, креслення поздовжніх розрізів ГТД.