

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

Кафедра № 201 «Теорії авіаційних двигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
_____ Сергій НИЖНИК

«____» _____ 2024 р.

СИЛАБУС
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЦИКЛІВ ГТД

(назва навчальної дисципліни)

Дисципліна індивідуального вибору MAJOR-6.1

Галузі знань

13 «Механічна інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність

134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(код та найменування спеціальності)

**Освітні
програми**

Авіаційні двигуни та енергетичні установки

(найменування освітньої програми)

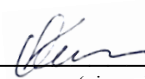
Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Вводиться в дію з «01» вересня 2024 р.

Харків 2024 рік

Розробник: Кіслов О.В., проф. каф. 201, к.т.н., доц.
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри теорії авіацій-
них двигунів (№ 201)

Протокол № 1 від «20» серпня 2024 р.

В.о. завідувача кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

О.В. КІСЛОВ
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

студент 223ст групи

(підпис)

Р.Е. ПЕТРОВ
(ініціали та прізвище)

Загальна інформація про викладача



КІСЛОВ Олег Володимирович,

Посада: професор кафедри Теорії авіаційних двигунів.

Науковий ступінь: кандидат технічних наук.

Вчене звання: доцент.

Викладацький стаж більше 36 років.

Перелік дисциплін, які викладає:

а) обов'язкові дисципліни:

- Теорія газотурбінних двигунів;
- Конверсія авіаційних двигунів в енергоустановки;
- Термодинамічний аналіз парогазових циклів;

б) вибіркові дисципліни.

Напрями наукових досліджень: теорія повітряно-реактивних двигунів; математичне моделювання робочого процесу і характеристик повітряно-реактивних двигунів та їх елементів, узгодження силових установок з літальними апаратами; конверсія авіаційних двигунів в наземні газотурбінні установки; комбіновані парогазові установки.

1. Опис навчальної дисципліни

Форма навчання – денна, дистанційна, дуальна.

Семестр, в якому викладається дисципліна – 6 семестр.

Дисципліна – вибіркова.

Загальна кількість годин за навчальним планом - 60 годин/2 кредита ЄКТС, у тому числі аудиторних – 32 годин, самостійної роботи здобувачів – 28 годин.

Види занять – лекційні і практичні заняття, самостійна робота здобувача.

Види контролю – поточний, модульний, підсумковий (семестровий) контроль (залік).

Мова викладання – українська.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета – теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до проектування ГТД та самостійного аналізу процесів, що відбуваються в ГТД та їх елементах.

Завдання – вивчення принципу дії повітряно-реактивних двигунів, характеристик їх елементів, методів термодинамічного аналізу циклів та оптимізації параметрів робочого процесу ГТД.

Компетентності, які набуваються:

1) Загальні :

- здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність приймати обґрунтовані рішення;
- здатність вчитися і оволодівати знаннями;

- здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності.

2) Фахові :

- здатність використовувати положення гідравліки, аеро- та газодинаміки для опису взаємодії тіл з газовим і гідравлічним середовищем;
- здатність проектувати та здійснювати випробування елементів авіаційної і ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

Очікувані результати навчання:

- **ПРН4.** Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі;
- **ПРН5.** Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі;
- **ПРН7.** Володіти логікою та методологією наукового пізнання, що ґрунтується на розумінні сучасного стану і методології предметної області;
- **ПРН13.** Розуміти особливості робочих процесів у гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних системах, що застосовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці;
- **ПРН15.** Застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проектування, конструювання та виробництва 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:

для вивчення «Термодинамічний аналіз циклів ГТД» потрібні знання з дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Термодинаміка і теплообмін», «Робочі процеси авіаційних двигунів», «Теоретична механіка та теорія машин і механізмів».

Кореквізити:

дисципліна «Термодинамічний аналіз циклів ГТД» розвиває і підсилює компетенції в області термодинамічного аналізу циклів ГТД і програм регулювання та характеристик ГТД.

Постреквізити: дисципліна «Термодинамічний аналіз циклів ГТД» забезпечує вивчення програм регулювання та характеристик ГТД, конструкції та міцності ГТД, а також якісне виконання курсових та дипломного проєктів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Схеми, цикли та тяга силової установки з ГТД

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Силкові установки з повітряно-реактивними двигунами та їх параметри

Загальна кількість годин на тему – 18 годин.

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані та її значення. Особливості вивчення дисципліни, навчальна література. Історичний огляд розвитку теорії повітряно-реактивних двигунів. Силова установка з ГТД та її основні абсолютні параметри. Класифікація ГТД і області їх використання. Ефективна і внутрішня тяга силової установки. Зовнішній опір СУ. Еквівалентна потужність ГТД. Основні питомі параметри силових установок з ГТД. Схеми ГТД. Газогенераторна частина. Ступінь двоконтурності. Температура змішування потоків в ТРДДзм. Теплові діаграми ГТД. Ефективна та вільна роботи. Поняття приєднаної маси повітря гвинтом чи вентилятором. Ефект приєднаної маси. ККД та енергетичний баланс силових установок з ГТД.

Лекція 1. Вступ. Тяга та питомі параметри силових установок(СУ) з повітряно-реактивними двигунами (ПРД)

Лекція 2. Схеми та теплові діаграми ГТД

Практичне заняття 1 (6 годин). Ознайомлення з випробувальними стендами та системами вимірювання параметрів ГТД

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до практичних занять. Робота за темою з навчальними посібниками. Формування питань до викладача. Підготовка до модульного контролю.

Види контролю – поточний.

Змістовий модуль 2.

Тема 2. Характеристики елементів силових установок з ГТД

Загальна кількість годин на тему – 18 годин.

Призначення, класифікація, основні параметри вхідних пристроїв і вимоги до них. Надзвукові вхідні пристрої. Надзвукові вхідні пристрої внутрішнього стиснення. Надзвукові вхідні пристрої зовнішнього стиснення. Характеристики вхідних пристроїв. Помпаж і «зуд» надзвукових вхідних пристроїв зовнішнього стиснення. Регулювання надзвукових вхідних пристроїв. Характеристики компресора : загальний вигляд, розузгодження режимів роботи ступенів на нерозрахункових режимах роботи компресора, регулювання компресора. Пилозахисні пристрої.

Лекція 1. Стиснення повітря у вхідному пристрої та компресорі

Лекція 2. Камери згоряння ГТД

Лекція 3. Розширення газу в турбіні та вихідному пристрої ГТД

Практичне заняття 1 (4 години). Надзвукові вхідні пристрої силових установок з ГТД

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до практичних занять. Робота за темою з навчальними посібниками. Формування питань до викладача. Підготовка до модульного контролю.

Види контролю – поточний.

Модульний контроль (2 години)

Модуль 2. Оптимізація циклів ГТД

Змістовий модуль 3.

Тема 3. Термодинамічний аналіз циклів ГТД

Загальна кількість годин на тему – 20 годин.

Вираз корисної (ефективної) роботи циклу ТРД через параметри робочого процесу. Зв'язок ефективної і вільної роботи з питомою тягою двигуна. Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги і питомих витрат палива від ступеня підігріву повітря. Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги і питомих витрат палива від ступеня підвищення тиску. Оптимальний та економічний ступень підвищення тиску. Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги і питомих витрат палива від ККД процесів стиснення і розширення. Залежності питомої потужності і питомих витрат палива ТВаД і ТГД від параметрів робочого процесу. Оптимальний розподіл роботи циклу ТГД між гвинтом і реакцією. Ціль та способи форсування ГТД. Теплова діаграма ТРДФ. Залежності питомої тяги і питомих витрат палива ТРДФ від параметрів робочого процесу. Вибір параметрів циклу у проектуванні ТРД і ТРДФ. Параметри робочого процесу та питомі параметри ТРДД. Робота циклу ТРДД без змішування потоків і її оптимальний розподіл між контурами. Призначення, схеми, організація робочого процесу і характеристики камер змішування ТРДД. Оптимальний розподіл роботи циклу між контурами ТРДД і ТРДДФ зі змішуванням потоків. Вплив параметрів робочого процесу на питомі параметри ТРДД і ТРДДФ.

Лекція 1. Оптимізація циклу ТРД, ТГД і ТВаД

Лекція 2. Оптимізація циклу ТРДФ

Лекція 3. Оптимізація циклу ТРДД і ТРДДФ

Практичне заняття 1 (6 годин). is-діаграма циклу ТРД

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до практичних занять. Робота за темою з навчальними посібниками. Формування питань до викладача. Підготовка до модульного контролю.

Види контролю – поточний.

Модульний контроль (2 години)

4. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом.

5. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій словесним та наочним методами, практичних занять методом практики (лабораторія газотурбінних двигунів, комп'ютерний клас), індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники) та підручниками, за допомогою програм розрахунку режимів роботи ГТД Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

6. Методи контролю

Проведення поточного контролю, захист звітів з практичних робіт, письмові модульні контрольні, підсумковий контроль у вигляді заліку.

7. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

7.1. Розподіл балів, які отримують здобувачі (кількісні критерії оцінювання)

№	Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	робота на лекційних заняттях			0 – 1
2	виконання практичної роботи	0 – 6	2	0 – 12
3	захист практичної роботи	0 – 6	2	0 – 12
4	складання модульного контролю (одного)	0 – 25	1	0 – 25
Разом за модуль 1				0 – 50
Модуль 2				
1	робота на лекційних заняттях			0 – 6
2	конспект лекцій	0 – 7	1	0 – 7
3	виконання практичної роботи	0 – 6	1	0 – 6
4	захист практичної роботи	0 – 6	1	0 – 6
5	складання модульного контролю (одного)	0 – 25	1	0 – 25
Разом за модуль 2				0 – 50
Разом за 6 семестр				0 – 100

Семестровий контроль (залік) у 6 семестрі проводиться методом накопичення балів за елементами навчальної роботи.

7.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- термогазодинамічні процеси в елементах ГТД;
- методи термогазодинамічного розрахунку ГТД.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- виконувати газодинамічні розрахунки ГТД та їх елементів;

- вибирати оптимальні параметри циклу в залежності від призначення та умов роботи ГТД.

7.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі практичні роботи. Знати основні положення дисципліни при недостатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів ГТД.

Добре (75-89). Володіти основними знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі практичні роботи. Знати основні положення дисципліни при достатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; достатньо вільно використовувати знання для аналізу типових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів ГТД, аналізувати одержані результати та робити правильні висновки.

Відмінно (90-100). Володіти всіма знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі практичні роботи. Знати всі положення дисципліни при глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; вільно використовувати знання для аналізу типових та нетипових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів ГТД, аналізувати одержані результати, робити правильні висновки та розробляти рекомендації для їх покращання.

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

8. Політика навчального курсу

Відпрацювання пропущених занять відбувається відповідно до розкладу консультацій, за попереднім погодженням з викладачем. Контроль за дотриманням академічної доброчесності здійснює викладач, керуючись Положенням про академічну доброчесність.

9. Методичне забезпечення

- Вибір параметрів та термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів: Навч. посібник / О.В. Кіслов, К.В. Фесенко; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2019. – 64 с. ISBN: - 978-966-662-660-1.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Vybor_Parametrov_Termogazodinamicheskij_Raschet.pdf
- Формування обліку проточної частини газотурбінних двигунів [Текст] : навч. посібник / О. В. Кіслов, К. В. Фесенко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 64 с.
- Термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів і установок: Навч. посібник / Г.В. Павленко; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2007. – 64 с.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/m2007/Termogazodinamicheskij_raschet_gazoturbinyh_dvigateler_i_ustanovok.pdf

4. Проектування камер згоряння газотурбінних двигунів: Навч. посібник / В.П. Герасименко, А.А. Нікішов. – Х.: ХАІ, 1999.
5. Проектування вихідних пристроїв ГТУ: Навч. посібник / А.Н. Анютін, О.Д. Дегтярьов, В.І. Ковальов, В.Ю. Незим. – Х.: ХАІ, 2001. – 63с.

На сайті кафедри 201 (адреса вказана у п.15 «Інформаційні ресурси») розміщено **навчально-методичний комплекс дисципліни, який включає в себе:**

- силабус дисципліни;
- підручники (навчальні посібники), в тому числі в електронному вигляді, які за змістом повністю відповідають силабусу дисципліни;
- методичні вказівки для практичних робіт, а також для самостійної підготовки здобувачів освіти;
- питання, тести для контрольних заходів;
- каталоги інформаційних ресурсів.

10. Рекомендована література

Базова

1. Теорія авіаційних газотурбінних двигунів: підручник для студентів вузів / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Бойко, Л. Г. Волянська, Н. С. Кулик [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т ; під ред. Ю. М. Терещенко . - 2-е вид., доп. та перероб. - Київ. - НАУ, 2013. - 596 с. ISBN: - 978-966-598-810-6 .
2. Теорія авіаційних двигунів : підручник / В. П. Герасименко. - Х. - Нац. аерокосмічний ун-т "ХАІ", 2003. - 199 с.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/m2003/Teorija_aviacijnih_dviguniv.pdf
3. Gas turbine performance / Philip P. Walsh, Paul Fletcher. – 2nd ed. p. cm. Includes bibliographical references and index, 2004 by Blackwell Science Ltd. ISBN 0-632-06434-X.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470774533>
<https://DOI:10.1002/9780470774533>
4. Gas Turbine Simulation Program – GSP 12.0.
<https://usoftly.ir/product/gas-turbine-simulation-program/>

Допоміжна

1. Cohen, H., Rogers, G.F.C., and Saravanamuttoo, H.I.H., Gas Turbine Theory, John Wiley & Sons, New York, 1972. URL:
<https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20THEORY%20BY%20H%20SARAVANAMUTTOO,%20H.%20COHEN%20&%20GFC%20ROGERS.pdf>
2. Теорія авіаційних газотурбінних двигунів : підручник для студентів вузів: гриф МОН України / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Волянська, Н. С. Кулик, В. В. Панин; під ред. Ю.М. Терещенко. - К. - Книжкове видавництво НАУ, 2005. - 500 с. ISBN: - 966-598-214-1.
3. Чисельне дослідження характеристик сопла турбореактивного двигуна багаторежимного літака в умовах дозвукового зовнішнього обтікання: [монографія] / О. В. Кіслов, В. В. Коткин ; М-во освіти та науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2017. – 152 с. ISBN: - 978-966-662-544-4.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Kislov_Tchislennoe_Issledovanie.pdf
4. Основи проектування газотурбінних двигунів і установок / Б. П. Васильєв, В. О. Коваль, В. В. Канаков, Г. В. Павленко [та ін.]. - Харків. - Контраст, 2005. - 376 с. - 966-96447-6-3

11. Інформаційні ресурси

1. Освітній сайт Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
<https://khai.edu.ua/>

2. Науково-технічна бібліотека Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» <https://library.khai.edu/>
3. Сторінка дисципліни у системі дистанційного навчання МЕНТОР за посиланням: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=8916>
4. Сайт кафедри <https://k201.khai.edu> .