

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

Кафедра аерокосмічної теплотехніки (№ 205)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

П.Г. Гакал
(ініціали та прізвище)

« 1 » вересня 2024 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Тепловий захист та системи охолодження енергоустановок та літальних апаратів
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 144 «Теплоенергетика»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: «Інжиніринг та експлуатація теплоенергетичних систем»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Вводиться в дію з «01» вересня 2024 р.

Харків 2024 рік

Розробник: Лисиця Олексій Юрійович, доцент, к.т.н.
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри аерокосмічної теплотехніки (№ 205)

Протокол № 1 від «30» серпня 20234 р.

Завідувач кафедри Д.Т.Н., доцент
(науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Гакал П.Г.
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

здобувач: студент групи 268



Ярмак Д.

Загальна інформація про викладача



ПІБ: Лисиця Олексій Юрійович

Посада: доцент кафедри аерокосмічної теплотехніки

Науковий ступінь: канд. техн. наук

Вчене звання: доцент

Перелік дисциплін, які викладає:

- Тепловий захист та системи охолодження енергоустановок та літальних апаратів;
 - Обчислювальна гідромеханіка;
 - Теплотехнічні вимірювання і прилади.
-

Напрями наукових досліджень:

CFD-моделювання теплогідрравлічних процесів в енергетичних системах, процеси тепломасообміну та гідрогазодинаміки в складних системах, багатофазні течії.

1. Опис навчальної дисципліни

Форма навчання – денна.

Семестр, в якому викладається дисципліна – 2.

Дисципліна обов'язкова.

Загальна кількість годин за навчальним планом – 150 годин/ 5 кредитів ЄКТС. **Кількість годин аудиторної роботи** – 56, **самостійної** – 94 години.

Види занять – лекції, практичні.

Вид контролю – поточний, модульний та підсумковий (семестровий) контроль (іспит).

Мова викладання – українська.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: формування системи знань і розумінь, що забезпечать розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності, здатність застосовувати та удосконалювати математичні моделі, наукові і технічні методи для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці, приймати рішення щодо теплового захисту і систем охолодження енергетичних установок, літальних апаратів та їх елементів.

Завдання: навчитися аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання з теплового захисту, систем охолодження, обирати ефективні методи розв'язання таких задач, розробляти і досліджувати математичні моделі, обґрунтовувати вибір та застосування матеріалів, обладнання та інструментів інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, розуміння професійних стандартів діяльності, застосовувати методи теплового захисту, враховувати вплив температур, зокрема криогенних на властивості конструкційних матеріалів.

Компетентності, які набуваються:

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
- здатність застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці;
- здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик;
- здатність приймати рішення щодо теплового захисту енергетичних установок, літальних апаратів та їх елементів.

Очікувані результати навчання:

- аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики;
- аналізувати і обирати ефективні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи розв'язання складних задач теплоенергетики;
- розробляти і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики, перевіряти адекватність моделей, порівнювати результати моделювання з іншими даними та оцінювати їх точність і надійність;
- обґрунтовувати вибір та застосування матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, вимог до кінцевого продукту, а також нетехнічних аспектів;
- вільно спілкуватися державною мовою з професійних питань, обговорювати результати виробничої, наукової та інноваційної діяльності з фахівцями та нефхівцями;
- оцінювати і забезпечувати якість об'єктів і процесів теплоенергетики;
- розуміння професійних і етичних стандартів діяльності, застосування їх під час діяльності у сфері теплоенергетики;
- застосовувати методи теплового захисту та інтенсифікації тепломасообміну. Враховувати вплив температур, зокрема кріогенних на властивості конструкційних матеріалів.

Пререквізити: гідрогазодинаміка, технічна термодинаміка, тепломасообмін, теплообмінні апарати, теплофізичні властивості речовин.

Кореквізити: комп'ютерні технології моделювання задач теплофізики, системи забезпечення теплового режиму, обчислювальна гідромеханіка.

Постреквізити: дипломна робота.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1

Тема 1. Роль теплового захисту в забезпеченні працездатності та надійності ЕУ і ЛА.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Зміст поняття „тепловий захист” відносно енергоустановок, авіаційних та космічних літальних апаратів. Теплонапруженість ЕУ і ЛА. Її параметри. Необхідність теплового захисту деталей та вузлів ЕУ і ЛА.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2-3 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 2. Пасивні види теплового захисту.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2-3 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Конструкційні матеріали. Конструкторські рішення. Технологічні рішення. Радіаційне охолодження. Теплоізолюючий захист. Ємкісний захист. Теплові акумулятори.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 4-6 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 3. Активні види теплового захисту.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 3-5 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Абляційний, пористий, плівковий, загороджувальний захисти. Конвективне та комбіноване охолодження. Теплові труби.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-8 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 4. Основи розрахунку теплового захисту.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 3-5 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Тепловий баланс для стінки конструкції при наявності конвективного та променистого теплообміну. Складові теплового балансу. Система рівнянь для розрахунку процесу теплообміну. Різноманітні підходи до рішення системи рівнянь.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-8 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 5. Вимоги до конструкційних матеріалів.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Підвищені вимоги в умовах високих температур та агресивних середовищ. Пластичність, кристалічна та хімічна стійкість, механічна міцність. Види конструкторських матеріалів.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 3-4 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 6. Системи рідинного охолодження ПД (СРО).

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 4-6 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Принципова схема СРО. Основні параметри СРО. Теплообмін в порожнинах СРО. Аналіз теплообміну в ПД з СРО. Рідинні насоси. Вентилятори. Теплообмінники – охолоджувачі рідини. Теплообмінники – охолоджувачі масла. Охолоджувачі надувного повітря.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-10 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 7. Система повітряного охолодження ПД (СПО).

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2-3 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Принципова схема СПО та її робота. Основні характеристики СПО. Аеродинаміка СПО та аеродинамічні пристрої. Регулювання СПО. Порядок розрахунку СПО. Конфігурація і розмір ребрення циліндра ПД. Тепловіддача ребрених поверхонь. Порівняння СРО і СПО.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 4-6 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 8. Системи охолодження газотурбінних двигунів.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2-3 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Складові СО ГТД: внутрішня повітряна система охолодження, система охолодження лопаток і дисків турбіни, система змащування роторів двигуна. Витрати енергії, які зв'язані з охолодженням елементів ГТД. Шляхи зменшення витрачання повітря на охолодження двигуна.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 4-6 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 9. Внутрішнє і зовнішнє охолодження лопаток газотурбінних установок.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2-3 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Розвиток систем конвективного та конвективно-плівкового охолодження. Вплив охолодження на ККД газової турбіни. Особливості охолодження соплових і робочих лопаток. Діаграма інтенсифікація теплообміну.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 4-6 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 10. Технології внутрішнього охолодження.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2-3 години.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Методи охолодження різних ділянок лопатки. Схема руху охолоджувача в лопатках з внутрішнім охолодженням. Конструкції лопаток з внутрішньою системою охолодження. Мікрооребріння каналів внутрішнього охолодження.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 4-6 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Модульний контроль 1

- *Форма занять: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*
 - *Обсяг самостійної роботи здобувачів – за необхідністю.*
- Підготовка до модульного контролю.

Модуль 2

Тема 11. Теплоізоляційні матеріали, пластмаси, резини.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Види теплоізоляційних матеріалів, пластмас, резин, що використовуються в теплоенергетиці. Їх властивості і призначення. Прокладкові матеріали.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2-3 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 12. Низькотемпературна теплоізоляція.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Класифікація НТІ. Газонаповнена теплоізоляція. Високовакуумна теплоізоляція. Вакуумно-порошкова та вакуумно-волокниста теплоізоляція. Багат шарова екранно-вакуумна теплоізоляція (ЕВТІ). Теплові мости та опори.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2-4 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 13. Вплив низьких температур на властивості сталей і сплавів.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Зміна властивостей вуглецевих та низьколегованих сталей зі зниженням температури. Вплив низьких температур на високолеговані аустенітні сталі. Вплив низьких температур на властивості кольорових металів і сплавів, зварні та паяні з'єднання.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2-3 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 14. Конструкторські та технологічні заходи теплового захисту ПД.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 6-10 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Тепловий захист поршнів ПД, випускних клапанів, гільз та головок циліндрів. Адіабатний двигун. Технологічні рішення ТЗ ПД.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-16 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 15. Тепловий стан газотурбінного двигуна (ГТД).

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 6-12 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Теплове навантаження ГТД. Шляхи підвищення параметрів ГТД. Тепловий баланс ГТД. Теплові потоки в ГТД. Температурний стан деталей ГТД.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 12-18 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 16. Особливості системи охолодження ГТД.

Форма занять: лекція, практика, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 6-10 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Складові СО ГТД: внутрішня повітряна система охолодження, система охолодження лопаток і дисків турбіни, система змащування роторів двигуна. Витрати енергії, які зв'язані з охолодженням елементів ГТД. Шляхи зменшення витрачання повітря на охолодження двигуна.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 8-14 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Модульний контроль 2

- *Форма занять: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години*

Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів – за необхідністю.*

Підготовка до модульного контролю.

4. Індивідуальні завдання

Індивідуальне завдання має на меті закріпити відповідні теоретичні знання і одержати необхідні навички практичних розрахунків з дисципліни.

Розрахункова робота «Розрахунок системи охолодження сопла рідинного ракетного двигуна [1].

В результаті виконання розрахункової роботи студенти визначають основні параметри та характеристики тепло-гідравлічного процесу.

5. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

6. Методи контролю

Поточний контроль (теоретичне опитування й розв'язання практичних завдань), модульний контроль (тестування за розділами курсу) та підсумковий (семестровий) контроль (іспит).

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
<i>Модуль 1</i>			
Виконання і захист практичних робіт	0...5	4	0...20
Модульний контроль	0...20	1	0...20
<i>Модуль 2</i>			
Виконання і захист практичних робіт	0...5	4	0...20
Виконання Індивідуального завдання	0...20	1	0...20
Модульний контроль	0...20	1	0...20
<i>За семестр</i>			0...100

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови здобувача від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час

складання семестрового іспиту/заліку здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань, кожне з яких оцінюється максимально в 50 балів.

7.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки: орієнтуватися в матеріалі курсу, знати основні пасивні та активні види теплового захисту, основи розрахунку системи охолодження.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки: розраховувати тепловий стан та систему охолодження при різних режимах роботи та виду використовуваного теплового захисту.

7.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74) – мати мінімум знань і умінь для забезпечення програмних результатів навчання. Виконати індивідуальне завдання.

Добре (75-89) – знати матеріал курсу, виконати усі завдання. Показати вміння виконувати практичні завдання та розрахункову роботу. Вміти самостійно розраховувати тепловий стан теплонапружених конструкцій при різних режимах роботи та виду використовуваного теплового захисту.

Відмінно (90-100) – глибоко знати основний та додатковий матеріал. Досконально знати усі види теплового захисту, розуміти їх переваги та можливість застосування до різних конструкцій, вміти самостійно і на високому рівні виконувати тепло гідравлічні процеси в системах охолодження ЛА та ЕУ.

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. Питання, що стосуються академічної доброчесності, розглядає викладач або за процедурою, визначеною у Положенні про академічну доброчесність.

9. Методичне забезпечення та інформаційні ресурси

Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням:

• http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=KNMZ&lang=ukr&caller_mode=SearchDocForm&ext=no&theme_path=0&themes_basket=&ttp_themes_basket=&disciplinesearch=no&top_list=1&fullsearch fld=&author fld=%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2&docname fld=&docname cond=beginwith&theme_context=%D0%A0%D1%96%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2&theme_cond=all_theme&theme_id=0&is_ttp=0&combiningAND=0&step=20&tpage=1

- 1. Теплообмін. Конспект лекцій. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 86 с.
- 2. Теплообмін. Конспект лекцій за дисципліною «Тепломасообмін». Ч. 1: Теплопровідність і теплообмін випромінюванням – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 88 с.
- 3. Теплообмін. Конспект лекцій за дисципліною «Тепломасообмін». Ч. 2: Конвекція. Теплообмінні апарати. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 101 с.
- 4. Технічна термодинаміка. Конспект лекцій. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 102 с.
- 5. Тепломасообмін. Навчальний посібник до лабораторних робіт за дисципліною «Тепломасообмін». – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2020. – 137 с.

Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2860>

10. Рекомендована література

Базова

1. Тепловий та динамічний розрахунок автомобільних двигунів. Навчальний посібник. В.Ф. Анісімов, А.В. Дмитрієва, С.М. Севостьянов. – ВНТУ, Вінниця, 2008. – 125 с.
2. Теплообмін. Конспект лекцій за дисципліною «Термодинаміка і теплообмін». – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 86 с.
3. Основи конвективного теплообміну: метод. вказівки до практ. занять / уклад.: Н.А. Панченко, А.А. Халатов. – К: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2017. – 32 с.

4. Розрахунок системи охолодження сопла рідинного ракетного двигуна. Методичні рекомендації / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. А. Халатов, Н. А. Панченко, А. Ж. Мейріс . – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 34 с.

Допоміжна

1. Теплообмін. Конспект лекцій за дисципліною «Тепломасообмін». Ч. 1: Теплопровідність і теплообмін випромінюванням – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 88 с.

2. Теплообмін. Конспект лекцій за дисципліною «Тепломасообмін». Ч. 2: Конвекція. Теплообмінні апарати. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2019. – 101 с.