

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)

П. Г. Гакал

(ініціали та прізвище)

«31» серпня 2021 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Теплонапружений стан та міцностна надійність
елементів теплових двигунів та енергетичних установок**
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 Електрична інженерія

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 144 Теплоенергетика

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Інжиніринг та експлуатація теплоенергетичних систем

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2021 року

Харків – 2021 р.

Розробник: Єпіфанов С. В., д.т.н., професор
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2021 р.

Завідувач кафедри д.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

П. Г. Гакал
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

здобувач


(підпис)

Д.О. Чечоткін
(ініціали та прізвище)

1. Загальна інформація про викладача



Спіфанов Сергій Валерійович, д.т.н., професор, Заслужений діяч науки і техніки України, академік Інженерної академії України, завідувач кафедри конструкції авіаційних двигунів. Викладає в університеті наступні дисципліни:

- системи охолодження та термічна міцність АД та ЕУ;
- ресурсні проектування та випробування АД та ЕУ;
- Design and Strength of Aircraft Engines and Power Plants;
- Design and Dynamics of Aircraft Engines and Power Plants;
- Aircraft Piston Engines.

Напрями наукових досліджень: системи та методи автоматичного керування та діагностування технічного стану газотурбінних двигунів; математичне моделювання динаміки двигунів; експлуатаційний моніторинг ресурсу двигунів.

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 1 семестр.

Обсяг дисципліни:

4 кредити ЄКТС (120 годин), у тому числі аудиторних – 40 годин, самостійної роботи здобувачів – 80 годин.

Форми здобуття освіти

Денна, дистанційна, дуальна.

Дисципліна – обов'язкова.

Види навчальної діяльності – лекції, практичні роботи, самостійна робота здобувача.

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

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – теплові двигуни та енергетичні установки, тепло- та масообмін, механіка матеріалів та конструкції, інженерне матеріалознавство;

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – моделювання та розрахунок процесів в енергосистемах, обчислювальна гідромеханіка.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

Вивчення навчальної дисципліни «Теплонапружений стан та міцностна надійність елементів теплових двигунів та енергетичних установок» полягає в придбанні знань щодо проблеми теплового та теплонапруженого стану деталей теплових двигунів та енергетичних установок та уявлень про проектування систем охолодження двигунів та інших високотемпературних об'єктів енергетики.

Завдання

Придбання знань щодо проблеми теплового та теплонапруженого стану деталей авіаційних двигунів, типових та перспективних схем теплового захисту, умов функціонування теплонапружених деталей та вузлів, розрахункових схем теплового навантаження, методів розрахунку теплового стану та термоміцності деталей в умовах неоднорідного нагріву. Вміти проектувати системи охолодження, обґрунтовувати технічні рішення, розраховувати тепловий та термоміцностний стан деталей в трьовимірній постановці, моделювати процеси в системі охолодження, оптимізувати та порівнювати існуючі конструкції, пропонувати шляхи їхнього вдосконалення.

Після опанування дисципліни здобувач набуде наступні **компетентності**:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- 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 застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці;
- Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик;

- Здатність аналізувати тепловий та теплонапружений стан деталей енергетичного обладнання;

Очікується, що після опанування дисципліни здобувач будуть досягнуті наступні **результати навчання** і він буде:

- 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 застосовування матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, вимог до кінцевого продукту, а також нетехнічних аспектів.
- Оцінювати і забезпечувати якість об'єктів і процесів теплоенергетики.
- Аналізувати умови функціонування теплонапружених деталей, тепловий стан та термоміцність деталей в різних умовах функціонування.

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. ТЕПЛОВИЙ ЗАХИСТ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНА

Тема 1. Вступ до дисципліни. Проблеми теплового та термонапруженого стану деталей об'єктів енергетичного машинобудування

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Місце дисципліни в навчальному плані. Рекомендована література. Охолодження камер згоряння і турбін, захист від намерзання криги, забезпечення та регулювання зазорів у компресорах і турбінах, випромінювання сопел та ін. Виникнення у деталях температурних напруг, повзучості та малоциклової втоми. Проблема джерел холоду та

холодоагентів на літальному апараті. Атмосферне повітря, повітря проточної частини, паливо, інші рідини.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 4 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 2. Теплові умови функціонування термонапружених деталей та вузлів об'єктів енергетичного машинобудування

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Аналіз умов роботи соплових та робочих лопаток турбін. Профіль проточної частини та зміна параметрів. Тепловий стан лопаток. Навантаження, що діють на лопатки. Аналіз умов роботи дисків турбін. Профіль диска. Розподіл температури. Наявність концентраторів. Навантаження, що діють на диски. Аналіз умов роботи, теплового стану та навантажень, що діють на корпуси турбін. Теплові умови та навантаження на опорні вузли двигунів.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Адаптація знань щодо схем та конструкцій енергетичного обладнання до предмету вивчення дисципліни.

Тема 3. Типові та перспективні види і схеми теплового захисту (охолодження).

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Основні елементи системи теплового захисту. Технічні характеристики систем охолодження. Конвекційне охолодження. Конструкція систем конвекційного охолодження. Засоби інтенсифікації тепловіддачі. Концепція загороджувального захисту. Перфораційні пояси. Технічні характеристики завіс. Тангенціальний (щільний) вдув повітря. Перфораційний вдув. Вдув через пористу ділянку. Сучасні технологічні можливості та обмеження для елементів системи охолодження АД. Перспективні види теплового захисту. Віхрові та теплові трубки, смерчове охолодження та ін. Особливості розрахунку лопаток з бандажними полицями, нерівномірно нагрітих лопаток.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Адаптація знань щодо теплообміну до систем

охолодження елементів енергетичного обладнання. Вивчення особливостей термонапруженого стану елементів газових турбін.

Тема 4. Математичне моделювання систем охолодження.

- *Форма занять: лекція, практичне заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 години.*
- *Практичне заняття: «Конструкція систем охолодження двигунів».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): комп'ютери та програмне забезпечення для моделювання температурного стану конструктивних елементів.*

Основні етапи розрахунку системи охолодження. Перевірочний та проектувальний розрахунки. Математична модель гідравліки системи охолодження. Комп'ютерні методи розрахунку.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Адаптація знань щодо розрахунку параметрів теплообміну до моделювання систем охолодження елементів енергетичного обладнання. Адаптація знань щодо розрахунку параметрів теплообміну до моделювання систем охолодження елементів енергетичного обладнання. Вивчення особливостей гідравлічних моделей на прикладі внутрішньої повітряної системи газотурбінного двигуна. Набуття практичних навичок моделювання температурного стану деталей, що нагріваються та охолоджуються.

Тема 5. Основи конвективного теплообміну.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Феноменологічний підхід до опису явищ у пограничному шарі. Теплообмін у ламінарному і турбулентному пограничних шарах. Критеріальні співвідношення для визначення товщини пограничного шару та інтенсивності теплообміну.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Адаптація знань щодо розрахунку параметрів конвективного теплообміну елементів енергетичного обладнання.

Тема 6. Особливості теплообміну охолоджуваних деталей ГТД.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 години.*

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

Газодинамічні та теплові процеси у пограничному шарі. Моделі «гріючої» температури газу. Температура адіабатної стінки. «Гріюча» температура пульсуючого потоку. Сегрегація газового потоку в міжлопатевому каналі робочого колеса турбіни. Зовнішній теплообмін лопаток. Розрахункові моделі тепловіддачі. Розрахунки тепловіддачі у каналах охолодження. Вплив обертання. Модель пограничного шару при щільному, перфораційному, та пористому вдуванні. Умови течії завіси без відриву від поверхні, з поверненням на поверхню, з виникненням суцільної пелени.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Адаптація знань щодо граничного шару до аналізу теплообміну елементів енергетичного обладнання.

Тема 7. Розрахунки ефективності систем загороджувального охолодження.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*

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

Ефективність щілинної завіси. Формула С.С. Кутателадзе – А.І. Леонтьєва. Ефективність перфораційної завіси. Ефективність пористого вдування (завіси). Порівняння різних типів завіс. Сумісна дія декількох видів охолодження. Формула Селлерса.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Адаптація знань щодо граничного шару до аналізу теплообміну елементів енергетичного обладнання.

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.

Змістовний модуль 2. ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

Тема 8. Фізичні основи виникнення термічних напружень.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): немає.*

Термоміцнісні явища: термічні напруження в ізотермічних деталях, при нерівномірному нагріві, при термоударі. Малоциклова термічна втома. Сили міжмолекулярної та міжатомної взаємодії. Теоретична межа міцності. Закон Гука. Потенційна енергія міжмолекулярної взаємодії. Вільне теплове розширення. Термічні напруження.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 8 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Адаптація знань щодо фізики твердого тіла до аналізу термічних напружень.

Тема 9. Конструювання термонапружених елементів енергетичного устаткування.

- *Форма занять: лекція, практичне заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 6 годин.*
- *Практичне заняття: «Конструкція систем охолодження двигунів».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): натурні макети газотурбінних та поршневих двигунів, схеми систем охолодження двигунів; натурні макети охолоджуваних лопаток газових турбін.*

Визначення деталей ГТД, які потребують охолодження. Аналіз умов їх роботи та нагрівання. Визначення місць відбирання охолоджуючого повітря. Вивчення схем та конструкцій внутрішніх повітряних систем ГТД. Ознайомлення з конструкціями систем охолодження поршневих авіаційних двигунів.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-10 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення шляхів охолоджуючого повітря від місць відбирання до охолоджуваних елементів. Вивчення способів організації теплообміну між охолоджуючою рідиною та конструктивним елементом. Вивчення конструкцій охолоджуваних робочих лопаток та соплових апаратів турбіни. Вивчення конструкцій охолоджуваних лопаток. Оформлення звіту з практичної роботи та підготовка до її здачі.

Тема 10. Розрахункові схеми теплового навантаження вузлів АД.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): немає.*

Робочі лопатки турбін. Диски турбін. Корпуси вузлів гарячої частини.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення макетів газотурбінних двигунів та креслень.

Тема 11. Напружений стан при неоднорідному нагріванні.

- *Форма занять: лекція, практичне заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): немає.*

Фізичні основи розрахунків термічних напружень. Міжмолекулярні сили. Теплове розширення. Тепловий тиск. Виникнення термічних напружень. Пружно-геометричні характеристики плоского перерізу у неоднорідному полі температур. Вісь та центр термонапруженої жорсткості. Центральні та головні вісі термонапруженої жорсткості. Їх положення. Зміна положення при локальному нагріванні. Стрижнева теорія розрахунків на міцність при неоднорідному нагріві. Розтяг при неоднорідному нагріванні. Вигин при неоднорідному нагріванні. Формула Біргера-Малініна для температурних напружень у лопатках. Оцінка термічних напружень у типових випадках. Спрощені формули.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 8 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення методів та програмних засобів для визначення та аналізу розподілу температур та напружень в охолоджуваних лопатках.

Тема 12. Оптимізація термонапруженого стану.

- *Форма занять: лекція, практичне заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 години.*
- *Практичне заняття: «Оптимізація термонапруженого стану охолоджуваної лопатки».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): комп'ютер з програмним забезпеченням для визначення напружень та візуалізації розподілу температур та напружень у розрахункових вузлах охолоджуваної лопатки.*

Методика візуалізації термонапруженого стану нерівномірно нагрітих елементів та аналізу впливу на нього різних факторів. Оптимізація термонапруженого стану робочих лопаток турбін. Оптимізація термонапруженого стану дисків турбін.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 3 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Практичне вивчення методики візуалізації термонапруженого стану охолоджуваних лопаток та методу оптимізації системи охолодження. Оформлення звіту з практичної роботи та підготовка до її здачі.

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.

5. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом

6. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

7. Методи контролю

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

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	7	0...7
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт			
Модульний контроль	26...43	1	26...43
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5

Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...4	4	10...16
Модульний контроль	13...21	1	13...21
Усього за семестр			60...100

Прийнята шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка для екзамену, курсового проекту (роботи), практики
90-100	відмінно
75-89	добре
60-74	задовільно
01-59	незадовільно з можливістю повторного складання

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

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

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

Перше запитання - змістовий модуль 1;

Друге запитання – змістовий модуль 2;

Перше тестове завдання містить 8 тестових запитань за тематикою модуля 1, вірні відповіді на які треба обрати з тих, що пропонуються.

Друге тестове завдання містить 8 тестових запитань за тематикою модуля 2, вірні відповіді на які треба обрати з тих, що пропонуються.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та захистити індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати схеми охолодження деталей. Уміти визначити тип охолодження лопатки турбіни за її натурним зразком або кресленням. Пояснювати вибір місця відбору охолоджуючого повітря. Пояснювати, який знак мають температурні напруження в області кромки та центральній частині лопатки на перехідних режимах роботи двигуна. Пояснювати причини перерозподілу напружень у деталі при виникненні нерівномірного розподілу температури за періодом.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре захистити

індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати тенденції зростання температури перед турбіною та внесок у цей процес розвитку систем охолодження. Знати типові схеми охолодження лопаток. Вміти визначити тип охолодження лопатки турбіни за її натурним зразком або кресленням. Знати основні етапи розрахунку систем охолодження. Вміти визначати зону переходу від ламінарного пограничного шару до турбулентного на поверхні лопатки. Вміти визначати параметри граничних умов теплообміну на зовнішній та внутрішній поверхнях охолоджуваних деталей за заданими критеріальними співвідношеннями. Знати основні типи течії охолоджуючого повітря при перфораційному охолодженні та вплив на них параметра вдування. Пояснювати умови та механізм виникнення температурних напружень. Пояснювати причини перерозподілу напружень у деталі при виникненні нерівномірного розподілу температури за перерізом. Виконувати аналіз поточного стану та виробляти рекомендації щодо оптимізації системи охолодження деталі, користуючись діаграмою температура-напруження.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре» і кількістю балів не менше 80). Повно знати основний та додатковий матеріал. Пояснювати вплив охолодження на термодинамічну ефективність двигуна. Знати умови роботи лопаток, дисків та корпусів турбін, які спричиняють необхідність охолодження. Знати головні втрати, пов'язані з охолодженням деталей двигунів. Виконувати аналіз переваг та недоліків усіх схем охолодження лопаток. Виконувати розрахунки граничних умов теплообміну та тривимірні розрахунки температур та напружень. Знати теорію загороджувального охолодження. Пояснювати фізичні чинники виникнення температурних напруг та методи їх усунення. Володіти основами аналізу деталей з нерівномірним розподілом температури за перерізами. Володіти основами оптимізації систем охолодження.

9. 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.

10. 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_the_mes_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](#)

- Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=45645>

11. Рекомендована література

Базова

1. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели. Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок [Текст] / А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. - М.: Машиностроение, 2007. – 204 с.
2. Han, J.C. Gas turbine heat transfer and cooling technology. 2-nd edition [Text] / J.C. Han, S. Dutta, S. Ekkad. – CRC Press, Boca Raton, London. New York, 2013. – 843 p.
3. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных установок: Учебник для вузов [Текст] / В.Л. Иванов, А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, Л.И. Осипов; Под ред. А.И. Леонтьева. – 2-е изд., стереотип. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 592 с.
4. Олейник А.В. Тепловая защита лопаток турбин воздушными завесами. Консп. лекций [Текст] / А.В. Олейник. – Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 1999. – 36 с.
5. Олейник А.В. Температурные напряжения в деталях газотурбинных двигателей. Конспект лекций [Текст] / А.В. Олейник. – Харьков: Нац. Аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 65 с.
6. Иноземцев, А. А. Газотурбинные двигатели [Текст] : в 5 кн. / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. П. Сандрацкий. – М. : Машиностроение, 2008. – Кн. 2 : Компрессоры. Камеры сгорания. Турбины. Выходные устройства. – 367 с.

Допоміжна

7. Олейник А.В. Расчет теплового и напряженного состояния охлаждаемых лопаток турбин: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию [Текст] / А.В. Олейник, С.Ю. Шарков. – Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 1995. – 61 с.
8. Биргер И.А. Сопротивление материалов. Учебное пособие [Текст] / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
9. Копелев С.З. Конструкции и расчет систем охлаждения ГТД [Текст] / С.З. Копелев, А.Ф. Слитенко. – Харьков.: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1994. – 240 с.
10. Локай В.И. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов [Текст] / В.И. Локай, М.К. Максимова, В.А. Струнkin. – М.: Машиностроение, 1979. – 447 с.

11. Основы проектирования турбин авиадвигателей [Текст] / под ред. С.З. Копелева. – М.: Машиностроение, 1988.
12. Фрид А.М. Охлаждаемые турбинные лопатки высокотемпературных газотурбинных двигателей. Учебное пособие[Текст] / А.М. Фрид, В.Г. Богданов. – Харьков. ХАИ, 1973.
13. Швец И.Т. Воздушное охлаждение деталей газовых турбин[Текст] / И.Т. Швец, Е.П. Дыбан. – Киев: Наукова думка, 1974. – 487 с. – 487 с.
14. Богомоллов Е.Н. Рабочие процессы в охлаждаемых турбинах газотурбинных двигателей с перфорированными лопатками [Текст] / Е.Н. Богомоллов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
15. Кутателадзе С.С. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое / С.С. Кутателадзе, А.И. Леонтьев. – М.: Энергия, 1972. – 344 с.
16. Манушин Э.А. Системы охлаждения турбин высокотемпературных газотурбинных двигателей [Текст] / Э.А. Манушин // Итоги науки и техники. Сер. Турбостроение. Т.2. М.: Энергия, 1972. – 344 с.
17. Репухов В.М. Теория тепловой защиты стенки вдувом газа [Текст] / В.М. Репухов. – Киев.: Наукова думка, 1980. – 296 с.