



СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (доктор філософії)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика та наноматеріали
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна) /дистанційна
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	90 годин, 3 кредити Лекції -18 годин, семінарські заняття -9 годин, СР - 63 години
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., Панченко Надія Анатоліївна, napanchenko-ipt@lil.kpi.ua , http://phes.ipt.kpi.ua/panchenko-nadiya-anatoliyivna Практичні: к.т.н., Панченко Надія Анатоліївна, napanchenko-ipt@lil.kpi.ua , http://phes.ipt.kpi.ua/panchenko-nadiya-anatoliyivna
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс Classroom https://classroom.google.com/c/MTI5OTYyMDAyNjI1?cjc=3rcyjd5

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Курс «Системи охолодження високотемпературних енергетичних установок» є одним з розділів професійної підготовки фізико-енергетичного циклу. Основною метою навчальної дисципліни «Системи охолодження високотемпературних енергетичних установок» є отримання здобувачем професійних знань в області систем охолодження високотемпературних енергетичних установок. Прослухавши курс здобувачі повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплообміну в системах охолодження елементів високотемпературного енергетичного устаткування.

Відповідність формування у студентів компетентностей:

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Спеціальні глави фізики живих систем» у відповідності до вимог освітньо-професійної програми аспіранти мають оволодіти:

загальними компетентностями (ЗК):

ЗК 1 Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових і складних ідей, переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику, розв'язувати значущі наукові та інші проблеми.

ЗК 2 Здатність використовувати у професійній діяльності сучасні знання з різних наук, у тому числі міждисциплінарного характеру.

ЗК 5 Здатність знаходити, обробляти й аналізувати необхідну інформацію для вирішення проблем й прийняття рішень.

ЗК 7 Здатність забезпечувати безперервний саморозвиток і самовдосконалення, відповідальність за розвиток інших.

фаховими компетентностями (ФК):

ФК 1 Здатність самостійно здійснювати науково-дослідну та науково-педагогічну діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій

ФК 2 Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в галузі прикладної фізики для вирішення наукових і практичних проблем

ФК 3 Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, комбінувати та зв'язувати їх методи, інтерпретувати одержані результати з метою виявлення властивостей та характеристик досліджуваних об'єктів в галузі прикладної фізики та нанотехнологій

ФК 4 Здатність проводити дослідження складних систем, їх системний та синергетичний аналіз, використовувати моделі та методи моделювання в наукових дослідженнях.

Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі програмні результати навчання (ПРН):

ПРН 1 Системні знання у фізиці та інших природничих науках, включаючи оволодіння методами наукового дослідження при здійсненні професійної діяльності.

ПРН 2 Системні знання поглибленого рівня в галузі прикладної фізики, наукомістких технологій, нових речовин і матеріалів, методів дослідження їх властивостей, зокрема, знання сучасних досягнень та інноваційних прикладних рішень, в тому числі на стику різних галузей наук.

ПРН 3 Знання методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень, основоположних принципів системного та синергетичного аналізу, розуміння моделей та методів моделювання в прикладній фізиці.

ПРН 9 Вміння орієнтуватися в наукових проблемах у професійній сфері, знаходити оптимальні шляхи їх розв'язання.

ПРН 10 Вміння критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові складні ідеї, які заслуговують на рецензовану публікацію на національному або міжнародному рівні.

ПРН 11 Вміння розширення меж і переосмислення наявного теоретичного знання й професійних практик, здатності сприймати, розробляти, застосовувати і адаптувати основний процес дослідження з науковою повнотою і цілісністю.

ПРН 12 Вміння обирати теоретичні й експериментальні методи дослідження, відповідні методи системного і синергетичного аналізу, застосовувати моделі та методи моделювання та інноваційні підходи для розв'язання складних завдань і проблем в науково-дослідній та/або інноваційних сферах.

ПРН 15 Вміння збирати та інтерпретувати наукову та фахову інформацію, з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та пошукових систем.

ПРН 16 Вміння використовувати сучасні методи і технології професійної комунікації українською та іноземними мовами.

ПРН 17 Вміння ефективно взаємодіяти в професійному середовищі й соціумі в цілому, результативно, науково і професійно працювати над новими ідеями як індивідуально, так і як член творчої команди.

ПРН 18 Вміння формулювати свої професійні висновки, особисті результати і досягнення та розумно їх обґрунтовувати для фахової та не фахової аудиторії.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення курсу «Системи охолодження високотемпературних енергетичних установок» базується на таких курсах: «Термодинаміка газового потоку», «Фізика», «Фізика суцільних середовищ», «Основи теорії пограничного шару», «Основи конвективного теплообміну», «Газодинаміка», « Спецглави теорії теплообміну».

Курс «Системи охолодження високотемпературних енергетичних установок» є елементом підготовки спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу здобувачів в рамках наукових робіт.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 Системи охолодження газових турбін.

Тема 0. Вступ.

Тема 1. Газові турбіни та тенденції їх розвитку.

Тема 2. Системи охолодження високотемпературних газотурбінних двигунів і газотурбінних установок.

Розділ 2 Внутрішнє охолодження лопаток газових турбін

Тема 3. Технології внутрішнього охолодження.

Тема 4. Зовнішній теплообмін.

Тема 5. Циклонне та вихрове охолодження.

Розділ 3 Зовнішнє охолодження лопаток газових турбін

Тема 6. Зовнішнє плівкове охолодження.

Тема 7. Розрахунок плівкового охолодження.

Тема 8. Профільовані отвори.

Тема 9. Антивихорові отвори.

Тема 10. Отвори в поверхневих заглибленнях.

Тема 11. Всерединістіночне охолодження.

Тема 12. Узагальнення проблематики.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Теплообмін та газодинаміка поверхнево-вихорових систем плівкового охолодження лопаток високотемпературних газотурбінних двигунів : звіт про науково-дослідну роботу (остаточний) / Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" ; керівник НДР А.А. Халатов. Київ, 2017. 221 сторінка, 181 рисунок, 52 джерела. (бібліотека кпі , кафедра та на гугл-диску викладача)

2. Теорія теплових двигунів. Термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ Терещенко Ю. М. [та ін.] ; за ред. проф. Ю. М. Терещенка. - К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту "НАУ-друк", 2009. - 327 с. (бібліотека кпі, кафедра)

Допоміжна

1. Han Je-Chin. Gas turbine heat transfer and cooling technology. Second Edition/ Je-Chin Han, Sandip Dutta, Srinath Ekkad // CRC Press/Taylor & Francis, 2013. – 869 pages. ISBN 9781439855683(гугл-диск викладача)

2. Вихровые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении / Халатов А.А./ Институт технической теплофизики НАН Украины.– Киев, – 2008. – 292 с.– ISBN 978-966-02-4917-2. (бібліотека та на кафедрі)

3. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил: монография / А.А. Халатов, И.И. Борисов, Ю.Я. Дашевский, С.Б. Резник.– Киев: НТУУ «КПИ», Изд-во «Политехника», 2016. Т. 10 : Перспективные схемы пленочного охлаждения. – 238 с.– ISBN 978-966-622-785-3. (бібліотека та на кафедрі)

4. Теплообмен и гидродинамика при циклонном охлаждении лопаток газовых турбин / А.А. Халатов, В.В. Романов, И.И. Борисов, Ю.Я. Дашевский, С.Д. Северин/ Институт технической теплофизики НАН Украины.– Киев, 2010. Т. 9. – 317 с.– ISBN 978-966-02-5694-1. (бібліотека та на кафедрі)

5. Теплопередача в охлаждаемых деталях газотурбинных двигателей летательных аппаратов/ В.И. Локай, М.Н. Бодунов, В.В. Жуйков, А.В. Щукин. – М.: Машиностроение, 1985. – 216 с.

6. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей [Текст] / Под ред. С.М. Шляхтенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1987. — 568 с.

7. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. [Текст] /А.А. Иноземцев, М.А. Нехамкин, В.Л. Сандрацкий. — М.: Машиностроение, 2008. — Т. 2. — 366 с.

8. Локай В.И. Газовые турбины двигателей летальных аппаратов [Текст] / В.И. Локай, В.А. Максимова, Б.В. Стрункин. — М.: Машиностроение, 1979. — 477 с.

9. Репухов В.М. Тепловая защита стенки вдувом газа [Текст] / В.М. Репухов. — Киев: Наукова Думка, 1977. — 216 с.

10. Волчков Э.П. Пристенные газовые завесы [Текст] / Э.П. Волчков. — Новосибирск : Издательство «Наука», Сибирское отделение, 1983. —240с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1.	Системи охолодження газових турбін. Вступ. Місце курсу в системі підготовки магістра. План і зміст курсу. Газові турбіни в енергетиці і авіації.
2.	Газові турбіни та тенденції їх розвитку. Цикл Брайтона (ккд та робота циклу). Основні елементи газової турбіни. Тенденції розвитку газових турбін. Ріст температури та ступеня стискання. Вимоги до матеріалів (високотемпературні сплави, обмеження за температурою). Газотурбобудування в Україні.
3.	Системи охолодження високотемпературних газотурбінних двигунів і газотурбінних установок. Відкриті та закриті схеми охолодження. Охолоджувальні елементи газової турбіни.
4.	Внутрішнє і зовнішнє охолодження лопаток газотурбінних установок. Розвиток систем конвективного та конвективно-плівкового охолодження. Вплив охолодження на ККД газової турбіни.
5.	Внутрішнє охолодження лопаток газових турбін. Особливості охолодження соплових і робочих лопаток. Діаграма інтенсифікація теплообміну.
6.	Технології внутрішнього охолодження. Методи охолодження різних ділянок лопатки. Схема руху охолоджувача в лопатках з внутрішнім охолодженням. Конструкції лопаток з внутрішньою системою охолодження. Мікрооребріння каналів внутрішнього охолодження.
7.	Зовнішній теплообмін. Розподіл коефіцієнта тепловіддачі по контуру лопатки. Найбільш напружені точки. Зовнішня тепловіддача. Середня тепловіддача. Вхідна кромка лопатки. Вихідна кромка лопатки. Торцева поверхня соплового апарату.
8.	Циклонне та вихрове охолодження. Циклонне та вихрове охолодження. Концепція закрутки потоку. Двовимірні схеми циклонного охолодження. Тривимірні схеми циклонного охолодження. Лопатка з циклонним охолодженням. Вихрові матриці при внутрішньому охолодженні лопаток газових турбін.
9.	Зовнішнє охолодження лопаток газових турбін.

	Плівкове охолодження та його ефективність, коефіцієнт тепловіддачі. Традиційні схеми плівкового охолодження, їх переваги та недоліки. Розрахунок плівкового охолодження (щілина та дискретні отвори).
10.	Зовнішнє плівкове охолодження. Способи підвищення ефективності охолодження за рахунок зміни геометрії вдуву. Перехід до щілини. Фактори, що мають вплив на ефективність плівкового охолодження. Перспективні схеми плівкового охолодження.
11.	Розрахунок плівкового охолодження. Вхідна кромка лопатки. Вихідна кромка лопатки. Торцева поверхня соплового апарату.
12.	Розрахунок плівкового охолодження. Робоча лопатка з плівковим охолодженням. Багатощіливе плівкового охолодження.
13.	Профільовані отвори. Профільовані отвори. Геометрична форма отворів. Переваги та недоліки таких схем. Фізична структура потоку за профільованими отворами.
14.	Антивихорові отвори. Антивихорові отвори. Геометричні параметри систем парних отворів. Використання додаткових антивихорових отворів. Нові схеми антивихорових отворів.
15.	Отвори в поверхневих заглибленнях. Отвори в поверхневих заглибленнях. Подача охолоджувача у траншею, кратери різної форми та заглиблення напівсферичної форми.
16.	Всерединістіночне охолодження. Всерединістіночне охолодження. Лопатка з охолодженням всередині стінки.
17.	Узагальнення проблематики. Порівняння перспективних схем плівкового охолодження.
18.	Підсумки.

Основні завдання циклу практичних занять направлені на закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях і прищеплюють навички їх використання при вирішенні практичних завдань.

№ з/п	Назва теми заняття
1.	Газові турбіни та тенденції їх розвитку.
2.	Системи охолодження ГТД та ГТУ.
3.	Внутрішнє охолодження лопаток газових турбін.
4.	Циклонне та вихрове охолодження. Контрольна робота 1.
5.	Зовнішнє плівкове охолодження.
6.	Розрахунок плівкового охолодження.
7.	Перспективні схеми плівкового охолодження.
8.	Перспективні схеми плівкового охолодження.
9.	Узагальнення проблематики. Контрольна робота 2.

6. Самостійна робота

Самостійна робота, а саме певна частка навчального матеріалу, на який виділено лише години СРС не передбачена.

Завданням самостійної роботи є навчити здобувачів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідною літературою та особистим конспектом лекцій;
- виконання підготовчої роботи до практичних занять;
- виконання індивідуальних практичних робіт (ІПР);

- підготовка до складання екзамену.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед здобувачем:

- відвідування лекцій, семінарських занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, здобувачам рекомендується відвідувати заняття (як лекцій, так і семінарські);
- активність на семінарських та лекційних заняттях, підготовка коротких доповідей на семінарських заняттях, використання засобів зв'язку – дистанційний ресурс Moodle та інші інтернет ресурси, що надає викладач тощо);
- заохочувальні бали за конспект лекційних занять (мають бути законспектовані всі лекції власноруч) – 2 б., участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни) – до 5 б. Штрафні бали за порушення термінів виконання завдань (за кожну роботу) – 2 б. ;
- результат індивідуальної практичної роботи (ІПР) для здобувача, який не з'явився на контрольний захід (захист роботи), є нульовим. У такому разі, здобувач має можливість представити індивідуальну практичну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів.
- дотримання стандартів академічної доброчесності.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: опитування за темою заняття (експрес-опитування) або тестування (тест-контроль). *Максимальна кількість балів – 30.*

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог Силабусу. Передбачається захист індивідуальної практичної роботи (ІПР), що проводиться в два етапи: ІПР1 на 8-ому тижні та ІПР2 на 16-ому тижні. *Максимальна кількість балів – $10 \times 2 = 20$.*

Семестровий контроль: екзамен – 50 балів.

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше або дорівнює 30 балам.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

- Цикл Брайтона (ккд та робота циклу).
- Основні елементи газової турбіни.
- Тенденції розвитку газових турбін.
- Ріст температури та ступеня стискання.
- Вимоги до матеріалів (високотемпературні сплави, обмеження за температурою).
- Газотурбобудування в Україні.
- Відкриті та закриті схеми охолодження.
- Охолоджувальні елементи газової турбіни.
- Розвиток систем конвективного та конвективно-плівкового охолодження.
- Вплив охолодження на ККД газової турбіни.
- Особливості охолодження соплових і робочих лопаток.

- Діаграма інтенсифікація теплообміну.
- Методи охолодження різних ділянок лопатки.
- Схема руху охолоджувача в лопатках з внутрішнім охолодженням.
- Конструкції лопаток з внутрішньою системою охолодження.
- Мікроорєбрення каналів внутрішнього охолодження.
- Розподіл коефіцієнта тепловіддачі по контуру лопатки.
- Найбільш напружені точки.
- Зовнішня тепловіддача.
- Середня тепловіддача.
- Вхідна кромка лопатки.
- Вихідна кромка лопатки.
- Торцева поверхня соплового апарату.
- Циклонне та вихрове охолодження.
- Концепція закрутки потоку.
- Двовимірна схема циклонного охолодження.
- Тривимірна схема циклонного охолодження.
- Лопатка з циклонним охолодженням.
- Вихрові матриці при внутрішнього охолодження лопаток газових турбін.
- Плівкове охолодження та його ефективність, коефіцієнт тепловіддачі.
- Традиційні схеми плівкового охолодження, їх переваги та недоліки.
- Розрахунок плівкового охолодження (щілина та дискретні отвори).
- Способи підвищення ефективності охолодження за рахунок зміни геометрії вдуву.
- Перехід до щілини.
- Фактори, що мають вплив на ефективність плівкового охолодження.
- Перспективні схеми плівкового охолодження.
- Вхідна кромка лопатки.
- Вихідна кромка лопатки.
- Торцева поверхня соплового апарату.
- Робоча лопатка з плівковим охолодженням.
- Багатощіливе плівкового охолодження.
- Профільовані отвори.
- Геометрична форма отворів.
- Переваги та недоліки таких схем.
- Фізична структура потоку за профільованими отворами.
- Антивихорові отвори.
- Геометричні параметри систем парних отворів.
- Використання додаткових антивихорових отворів.
- Нові схеми антивихорових отворів.
- Отвори в поверхневих заглибленнях.
- Подача охолоджувача у траншею, кратери різної форми та заглиблення напівсферичної форми.
- Всерединістіночне охолодження.
- Лопатка з охолодженням всередині стінки.
- Порівняння перспективних схем плівкового охолодження.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Системи охолодження високотемпературних енергетичних установок

Складено Старший викладач, кандидат технічних наук, Панченко Надія Анатоліївна

Ухвалено кафедрою Фізики енергетичних систем (протокол № 2 від 04.09.2020р.)

Погоджено Методичною комісією ФТІ (протокол № 7/1 від 07.09.2020р.)