



СПЕЦГЛАВИ ТЕОРІЇ ТЕПЛООБМІНУ

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
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна) /дистанційна
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	3 (90) Лекції –13 год., семінарські заняття – 7, СР – 70 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., професор, академік НАН України, Халатов Артем Артемович, Artem.Khalatov1942@gmail.com, http://phes.ipt.kpi.ua/halatov-artem-artemovich Практичні: к.т.н., Панченко Надія Анатоліївна, panchenko-ipt@lll.kpi.ua , http://phes.ipt.kpi.ua/panchenko-nadiya-anatoliyivna
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс

Програма навчальної дисципліни

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

Основною метою навчальної дисципліни «Спецглави теорії теплообміну» є отримання здобувачами знань закономірностей теплообміну в складних термогазодинамічних процесах. Прослухавши курс здобувачі повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплообміну в елементах енергетичного устаткування, робити розрахунки тепловіддачі в елементах перспективних енергетичних установок та сучасного обладнання. А також, виконувати дослідження і робити обґрунтовані висновки при дослідженні теплових процесів в енергетичних системах і нових джерел енергії.

Відповідність формування у аспірантів компетентностей:

Загальні компетентності:

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.

ЗК7. Здатність забезпечувати безперервний саморозвиток і самовдосконалення, відповідальність за розвиток інших.

Спеціальні (фахові) компетентності:

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.

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

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

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Спецглави теорії теплообміну» можна використовувати в подальшому під час індивідуальної наукової роботи здобувачів в рамках наукових робіт

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Тепловіддача в хімічно реагуючих потоках.

Тема 1.1. Вступ. Тепловіддача в хімічно реагуючих потоках. Вступ. Особливості тепловіддачі в хімічно реагуючому газі. Рівняння для розрахунку теплового потоку та коефіцієнта тепловіддачі на непроникній стінці. Хімічно рівноважний примезовий шар, хімічно нерівноважна течія на каталітичній стінці. Система диференціальних рівнянь та додаткова умова фізичної подоби.

Тема 1.2. Розрахунок тепловіддачі в хімічно реагуючій течії. Розрахунок тепловіддачі в хімічно реагуючій течії. Ефективні характеристики переносу. Розрахунок тепловіддачі на каталітичній стінці.

Розділ 2. Тепловіддача в криволінійних течіях.

Тема 2.1. Особливості криволінійних течій. Характеристика криволінійних течій. Фізична подоба. Перехід до турбулентної течії. Особливості математичного опису. Профілі швидкості та турбулентна структура в примежовому шарі.

Тема 2.2. Теплообмін на криволінійній стінці. Вихори Гертлера. Теплообмін та поверхневе тертя на ввігнутій та опуклій стінці. Відцентрова нестійкість Гертлера. Вихори Гертлера. Адаптація та релаксація примежового шару.

Тема 2.3. Особливості гідродинаміки та теплообміну в криволінійних каналах. Напівобмежена струя на ввігнутій та опуклій поверхні. Плівкове та пористе охолодження на криволінійній поверхні. Особливості гідродинаміки та теплообміну в криволінійних каналах.

Розділ 3. Теплообмін в закручених потоках.

Тема 3.1. Характеристика закрученого потоку. Характеристика закрученого потоку. Фактори інтенсифікації теплообміну. Способи закрутки течії. Фізична подоба течій з початковою закруткою. Гідродинаміка закрученої течії в трубах. Вплив граничних умов. Теплообмін закрученої течії в трубах. Вплив граничних умов.

Тема 3.2. Теплообмін та гідродинаміка закручених потоків. Теплообмін та гідродинаміка біля завихрювачів. Стабільність течії. Теплообмін та гідравлічний опір всередині скручених труб та змійовиків. Теплообмін та гідравлічний опір в пучках скручених труб.

Тема 3.3. Циклонне охолодження лопаток ГТД. Теплообмін в надзвукових соплах Лавалю. Циклонне охолодження лопаток ГТД. Вихрова матриця в системі охолодження лопаток ГТД.

Розділ 4. Теплообмін в каналах, що обертаються.

Тема 4.1. Структура течії в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Структура течії, стабільність та фізична подоба в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Режими течії. Теплообмін та гідравлічний опір в трубах, що обертаються навколо своєї осі. Особливості структури течії в трубі, що обертається радіально. Режими течії. Фізична подоба.

Тема 4.2. Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально. Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально. Структура течії в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються. Фізична подоба та стабільність в зазорі між циліндрами, що обертаються.

Тема 4.3. Теплообмін в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються.

Теплообмін в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються.

Розділ 5. Теплообмін в системах з заглибленнями на поверхні.

Тема 5.1. Одиночне сферичне заглиблення. Класифікація поверхневих заглиблень. Одиночне сферичне заглиблення. Структура течії. Режими течії в заглибленні. Перехід до турбулентності за заглибленням. Теплообмін та гідравлічний опір за одиночним сферичним та циліндричним заглибленням.

Тема 5.2. Одно- та дворядна система сферичних заглиблень. Одно- та дворядна система сферичних заглиблень: особливості структури течії та перехід до турбулентності за заглибленням. Одно- та дворядна система сферичних заглиблень: теплообмін та гідравлічний опір, вплив форми заглиблення.

Тема 5.3. Канали з багаторядними поверхневими заглибленнями. Теплообмін та гідравлічний опір в каналах з багаторядними поверхневими заглибленнями. Теплообмін поперечному обтіканні труб з поверхневими заглибленнями. Пучки труб. Вихрові технології аеротермодинаміки: плівкове охолодження, керування відривом потоку, внутрішнє охолодження лопаток ГТД.

Розділ 6. Теплообмін в каналах енергетичних установок.

Тема 6.1. Кипіння рідини в трубах. Кипіння рідини в трубах. Криза кипіння в трубах та керування кризою. Підведення газу та рідини в примежовий шар. Ламінарно-турбулентний перехід. Тепловіддача на шорсткій поверхні.

Тема 6.2. Тепловіддача у відривних зонах. Тепловіддача у відривних зонах.

Плівкове охолодження на пласкій поверхні. Пористі вставки в каналах.

Тема 6.3. Мікрооребрення в каналах ГТД. Двофазна течія (газ-тверді частинки) в соплах Лаваля. Мікрооребрення в каналах ГТД. Двофазна течія (газ-тверді частинки) в соплах Лаваля.

Тема 6.4. Теплові труби та їх використання в системах охолодження. Теплові труби та їх використання в системах охолодження.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Теплові та газодинамічні процеси в складних вихрових і закручених потоках : звіт про науково-дослідну роботу (заклучний) / Мін-во освіти і науки України, НТУУ "КПІ" ; кер. роб. А. Халатов. Київ, 2015. 164 сторінки, 151 рисунок, 117 джерела (бібліотека кпі , кафедра та на гугл-диску викладача)

2. 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)

Допоміжна

1. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика около криволинейных поверхностей. К.: Наукова Думка, 1992, 135 с. (бібліотека та на кафедрі)

2. Ануров Ю.М., Коваль В.А., Халатов А.А. и др. Обеспечение показателей надежности и ресурса ГТД стационарного применения ч.2. Харьков, Изд. Монограф, 2011, 318 с.

3. Халатов А.А. и др. Термогазодинамика сложных потоков около криволинейных поверхностей. К.: Изд ИТТФ НАНУ, 1999, 300 с. (бібліотека та на кафедрі)

4. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, 200 с (бібліотека та на кафедрі)/

5. Мукачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991 – 470 с. (бібліотека та на гугл-диску викладача)

6. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, 240 с.

7. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика вихревых потоков в полях массовых сил. М.:Машиностроение, 1980, 240 с.

8. Авдуевский В.С. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. М.: Машиностроение, 1975 – 623 с.

9. Данилов Ю.И., Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.А. Теплообмен и гидродинамика в каналах сложной формы. М.: Машиностроение, 1986, 199 с.

10. Халатов А.А. и др. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 9: Теплообмен и гидродинамика при циклонном охлаждении лопаток газовых турбин. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2010, 317 с.

11. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 7: Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2008, 292 с.
12. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 5: Теплообмен гидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2005, 500 с.
13. Доник Т.В., Письменный Д.Н. Теплообмен и гидродинамика закрученных и вихревых потоков в каналах. К.: Наукова Думка, 2014, 188 с.
14. Волчков Э.П. Пристенные газовые завесы. М.: Наука, 1983, 239 с.
15. Попов И.А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных элементах и аппаратах. Казань: Центр индустриальных технологий, 2007, 239 с.
16. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Тепло- массообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергия, 1972, 341 с.
17. Rao Yu, Biegger C., Weigand B. Flow and heat transfer measurements in swirl tubes with one and multiple tangential inlet jets for internal gas turbine blade. Internal Journal Heat and Mass Transfer, 73, 2018, p.174-187
18. Hamza Fawzy, Qun Zheng, and Naseem Ahmad. Effect of slot area ratio and slot angle on swirl cooling in a gas turbine blade leading edge. Journ. Aerospace Eng., 2020, 33(5): 04020046 (1-13).
19. Gang Lin, Karsten Kusterer, et al. Investigation on heat transfer enhancement and pressure loss of double swirl chambers cooling. Propulsion and Power Research, 2013, 2(3), p.177-187.

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	Особливості тепловіддачі в хімічно реагуючому газі. Рівняння для розрахунку теплового потоку та коефіцієнта тепловіддачі на непроникній стінці. Хімічно рівноважний примежовий шар, хімічно нерівноважна течія на каталітичній стінці. Система диференційних рівнянь та додаткова умова фізичної подоби	
	Література:	1. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991 – с.318-361 2. Авдуевский В.С. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. М.: Машиностроение, 1975 – с. 448-450.
	Завдання на СР:	Рівноважні та нерівноважні процеси. Особливості тепловіддачі при хімічних реакціях в потоці.
2	Розрахунок тепловіддачі в хімічно реагуючій течії. Ефективні характеристики переносу. Розрахунок тепловіддачі на каталітичній стінці.	
	Література:	1. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991 – с.361-363 2. Авдуевский В.С. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. М.: Машиностроение, 1975 – с. 451-457.
	Завдання на СР:	Теплофізичні властивості при дисоціації. Ефективне число Прандтля.
3	Характеристика криволінійних течій. Фізична подоба. Перехід до турбулентної течії. Особливості математичного опису. Профілі швидкості та турбулентна структура в примежовому шарі.	
	Література:	1. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика около криволинейных поверхностей. К.: Наукова Думка, 1992, с. 8-57. 2. Ануров Ю.М., Коваль В.А., Халатов А.А. и др. Обеспечение показателей надежности и ресурса ГТД стационарного применения ч.2. Харьков, Изд. Монограф, 2011, с. 192-197.
	Завдання на СР:	Розподіл дотичних напружень тертя та «від'ємна» густина потоку.
4	Теплообмін та поверхневе тертя на ввігнутій та опуклій стінці. Відцентрова нестійкість Гертлера. Вихори Гертлера. Адаптація та релаксація примежового шару.	

Література:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика около криволинейных поверхностей. К.: Наукова Думка, 1992, с. 57-61. 2. Ануров Ю.М., Коваль В.А., Халатов А.А. и др. Обеспечение показателей надежности и ресурса ГТД стационарного применения ч.2. Харьков, Изд. Монограф, 2011, с. 197-213 3. Халатов А.А. и др. Термогазодинамика сложных потоков около криволинейных поверхностей. Киев, Изд ИТТФ НАНУ, 1999, с. 129-270.
Завдання на СР:	Застосування законів тертя та теплообміну для розрахунку тепловіддачі на випуклій та вогнутій поверхні.
5	Напівобмежена струя на ввігнутій та опуклій поверхні. Плівкове та пористе охолодження на криволінійній поверхні. Особливості гідродинаміки та теплообміну в криволінійних каналах.
Література:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика около криволинейных поверхностей. К.: Наукова Думка, 1992, с. 101-103. 2. Ануров Ю.М., Коваль В.А., Халатов А.А. и др. Обеспечение показателей надежности и ресурса ГТД стационарного применения ч.2. Харьков, Изд. Монограф, 2011, с. 205-211. 3. Халатов А.А. и др. Термогазодинамика сложных потоков около криволинейных поверхностей. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 1999, с. 159-237. 4. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 33-67.
Завдання на СР:	Стабільність напівобмеженої струї біля випуклої та ввігнутої стінки. Формування вихорів Гертлера та Тейлора в криволінійних каналах.
6	Характеристика закрученого потоку. Фактори інтенсифікації теплообміну. Способи закрутки течії. Фізична подоба течій з початковою закруткою. Гідродинаміка закрученої течії в трубах. Вплив граничних умов. Теплообмін закрученої течії в трубах. Вплив граничних умов.
Література:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с. 6-73. 2. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, с. 6-50. 3. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 118-142.
Завдання на СРС:	Локальне та інтегральне числа подоби. Зв'язок між ними. Затухання закрутки в трубі.
7	Теплообмін та гідродинаміка біля завихрювачів. Стабільність течії. Теплообмін та гідравлічний опір всередині скручених труб та зміювиків. Теплообмін та гідравлічний опір в пучках скручених труб.
Література:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с. 32-38. 2. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, с. 117-121. 3. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 63-66. 4. Данилов Ю.И., Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.А. Теплообмен и гидродинамика в каналах сложной формы. М.: Машиностроение, 1986, с. 149-170.
Завдання на СР:	Заглушення турбулентності біля завихрювача. Фізична структура потоку в пучках скручених труб.
8	Теплообмін в надзвукових соплах Лавалля. Циклонне охолодження лопаток ГТД. Вихрова матриця в системі охолодження лопаток ГТД.
Література:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, с. 129-132. 2. Халатов А.А. и др. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 9: Теплообмен и гидродинамика при циклонном охлаждении лопаток газовых турбин. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2010, с. 67-83. 3. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 7: Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2008, с. 53-167.

	4. Ануров Ю.М., Коваль В.А., Халатов А.А. и др. Обеспечение показателей надежности и ресурса ГТД стационарного применения ч.2. Харьков, Изд. Монограф, 2011, с. 137-172.
Завдання на СР:	Структура «звукової» лінії в соплах з закруткою потоку. Можливість регулювання тяги сопла за рахунок закрутки.
9	Структура течії, стабільність та фізична подоба в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Режими течії. Теплообмін та гідравлічний опір в трубах, що обертаються навколо своєї осі. Особливості структури течії в трубі, що обертається радіально. Режими течії. Фізична подоба.
Література:	1. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 168-180.
Завдання на СР:	Стабільність потоку в трубі, що обертається навколо своєї осі. Коріолісові сили та їх вплив на теплообмін.
10	Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально. Структура течії в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються. Фізична подоба та стабільність в зазорі між циліндрами, що обертаються.
Література:	1. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 180-197.
Завдання на СР:	Стабільність потоку, вплив осьової течії на вихрову структуру потоку в зазорі між циліндрами, що обертаються. Карта режимів.
11	Теплообмін в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються.
Література:	1. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 197-210.
Завдання на СР:	Режими течії та рівняння для розрахунку теплообміну в зазорі між циліндрами, що обертаються.
12	Класифікація поверхневих заглиблень. Одиночне сферичне заглиблення. Структура течії. Режими течії в заглибленні. Перехід до турбулентності за заглибленням. Теплообмін та гідравлічний опір за одиначним сферичним та циліндричним заглибленням.
Література:	1. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 5: Тепломассообмен гидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. К.: изд. ИТТФ НАНУ, 2005, с. 216-268.
Завдання на СР:	Карта режимів в одиначному заглибленні, форма вихорів. Перехід до турбулентності.
13	Одно- та дворядна система сферичних заглиблень: особливості структури течії та перехід до турбулентності за заглибленням. Одно- та дворядна система сферичних заглиблень: теплообмін та гідравлічний опір, вплив форми заглиблення.
Література:	1. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 5: Тепломассообмен гидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2005, с. 257-309. 2. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 7: Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2008, с.237-246.
Завдання на СР:	Особливості структури потоку та теплообміну в одно- та дворядних системах.
14	Теплообмін та гідравлічний опір в каналах з багаторядними поверхневими заглибленнями. Теплообмін поперечному обтіканні труб з поверхневими заглибленнями. Пучки труб. Вихрові технології аеротермодинаміки: плівкове охолодження, керування відривом потоку, внутрішнє охолодження лопаток ГТД.
Література:	1. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 5: Тепломассообмен гидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2005, с. 377-380. 2. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 7: Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2008, с. 100-130.
Завдання на СР:	Особливості течії та теплообміну при обтіканні одиначної труби з заглибленнями. Плівкове охолодження пластины за системою дворядних напівсферичних заглиблень.

15	Кипіння рідини в трубах. Криза кипіння в трубах та керування кризою. Підведення газу та рідини в примежовий шар. Ламінарно-турбулентний перехід. Тепловіддача на шорсткій поверхні.
Література:	1. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Машиностроение, 1975, с. 332-403. 2. Доник Т.В., Письменный Д.Н. Теплообмен и гидродинамика закрученных и вихревых потоков в каналах. К.: Наукова Думка, 2014, с. 148-203.
Завдання на СР:	Фізична структура потоку при підведенні газу в примежовий шар. Критична умова вдуву.
16	Тепловіддача у відривних зонах. Плівкове охолодження на пласкій поверхні. Пористі вставки в каналах.
Література:	1. Волчков Э.П. Пристенные газовые завесы. Н.: Наука, 1983, с. 8-33. 2. Попов И.А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных элементах и аппаратах. Казань: Центр индустриальных технологий, 2007, с. 90-110.
Завдання на СР:	Причини інтенсифікації теплообміну в відривних зонах. Способи плівкового охолодження.
17	Мікрооребрення в каналах ГТД. Двофазна течія (газ-тверді частинки) в соплах Лавалю.
Література:	1. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Машиностроение, 1975, с. 378-382. 2. Доник Т.В., Письменный Д.Н. Теплообмен и гидродинамика закрученных и вихревых потоков в каналах. К.: Наукова Думка, 2014, с. 87-103.
Завдання на СР:	Інерційне осадження частинок. Особливості теплообміну в соплах Лавалю з двофазним потоком.
18	Теплові труби та їх використання в системах охолодження.
Література:	1. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Машиностроение, 1975, с. 437-442.
Завдання на СР:	Принцип роботи теплової труби. Умови її ефективної роботи.

№ з/п	Назва теми практичних занять
1.	Тепловіддача в хімічно реагуючих потоках.
2.	Тепловіддача в криволінійних течіях.
3.	Теплообмін в закручених потоках.
4.	Циклонне охолодження лопаток ГТД.
5.	Теплообмін в каналах, що обертаються.
6.	Теплообмін в системах з заглибленнями на поверхні.
7.	Багаторядні поверхневі заглибленнями.
8.	Теплообмін в каналах енергетичних установок.

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 (РСО)

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 балів.

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:

- Особливості тепловіддачі в хімічно реагуючому газі.
- Рівняння для розрахунку теплового потоку та коефіцієнта тепловіддачі на непроникній стінці.
- Хімічно рівноважний примежовий шар, хімічно нерівноважна течія на каталітичній стінці.
- Система диференційних рівнянь та додаткова умова фізичної подоби.
- Розрахунок тепловіддачі в хімічно реагуючій течії.
- Ефективні характеристики переносу.
- Розрахунок тепловіддачі на каталітичній стінці.
- Характеристика криволінійних течій.
- Фізична подоба.
- Перехід до турбулентної течії.
- Особливості математичного опису.
- Профілі швидкості та турбулентна структура в примежовому шарі.
- Теплообмін та поверхневе тертя на ввігнутій та опуклій стінці.
- Відцентрова нестійкість Гертлера. Вихори Гертлера.
- Адаптація та релаксація примежового шару.
- Напівобмежена струя на ввігнутій та опуклій поверхні.
- Плівкове та пористе охолодження на криволінійній поверхні.
- Особливості гідродинаміки та теплообміну в криволінійних каналах.
- Характеристика закрученого потоку.
- Фактори інтенсифікації теплообміну.
- Способи закрутки течії.

- Фізична подоба течій з початковою закруткою.
 - Гідродинаміка закрученої течії в трубах.
 - Вплив граничних умов.
 - Теплообмін закрученої течії в трубах.
 - Вплив граничних умов.
 - Теплообмін та гідродинаміка біля завихрювачів.
 - Стабільність течії.
 - Теплообмін та гідравлічний опір всередині скручених труб та зміювиків.
 - Теплообмін та гідравлічний опір в пучках скручених труб.
 - Теплообмін в надзвукових соплах Лаваля.
 - Циклонне охолодження лопаток ГТД.
 - Вихрова матриця в системі охолодження лопаток ГТД.
 - Структура течії, стабільність та фізична подоба в каналах, що обертаються навколо своєї осі.
 - Режими течії, що обертаються навколо своєї осі.
 - Теплообмін та гідравлічний опір в трубах, що обертаються навколо своєї осі.
 - Особливості структури течії в трубі, що обертається радіально.
 - Режими течії, що обертається радіально.
 - Фізична подоба.
 - Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально.
 - Структура течії в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються.
 - Фізична подоба та стабільність в зазорі між циліндрами, що обертаються.
 - Теплообмін в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються.
 - Класифікація поверхневих заглиблень.
 - Одиночне сферичне заглиблення.
 - Структура течії. Режими течії в заглибленні.
 - Перехід до турбулентності за заглибленням.
 - Теплообмін та гідравлічний опір за одиночним сферичним та циліндричним заглибленням.
 - Одно- та дворядна система сферичних заглиблень: особливості структури течії та перехід до турбулентності за заглибленням.
 - Одно- та дворядна система сферичних заглиблень: теплообмін та гідравлічний опір, вплив форми заглиблення.
 - Теплообмін та гідравлічний опір в каналах з багаторядними поверхневими заглибленнями.
- Теплообмін поперечному обтіканні труб з поверхневими заглибленнями. Пучки труб.
- Вихрові технології аеротермодинаміки: плівкове охолодження, керування відривом потоку, внутрішнє охолодження лопаток ГТД.
 - Кипіння рідини в трубах.
 - Криза кипіння в трубах та керування кризою.
 - Підведення газу та рідини в примежовий шар.
 - Ламінарно-турбулентний перехід.
 - Тепловіддача на шорсткій поверхні.
 - Тепловіддача у відривних зонах.
 - Плівкове охолодження на пласкій поверхні.
 - Пористі вставки в каналах.
 - Мікрооребрення в каналах ГТД. Двофазна течія (газ-тверді частинки) в соплах Лаваля.
 - Теплові труби та їх використання в системах охолодження.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Спеціальні глави теорії теплообміну

Складено

В.о. завідувача кафедри, доктор технічних наук, професор Халатов Артем Артемович, старший викладач, кандидат технічних наук Панченко Надія Анатоліївна.

Ухвалено кафедрою Фізики енергетичних систем (протокол № 2 від 4 вересня 2020 р.)

Затверджено Вченою радою ФТІ (протокол № 7/1 від 7 вересня 2020 р.)