



Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні

Робоча програма кредитного модуля (Силабус)

Входить до освітнього компоненту Тепломасообмін

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>ОПП Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5,5 кредитів 165 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – один раз на тиждень; практичні заняття – один раз на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: укр. мова - <i>к.т.н, доц. Фуртат Ірина Едуардівна, i.e.furtat@gmail.com</i> Практичні: <i>к.т.н, доц. Фуртат Ірина Едуардівна, i.e.furtat@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=218281</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Предметом освітнього компоненту «Тепломасообмін» є фізична сутність та закономірності процесів тепломасообміну стосовно до задач теплоенергетики. В зв'язку з цим необхідним і вмотивованим **предметом** кредитного модуля «Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні» є вивчення теплообміну при конденсації і кипінні, теплообміну випромінювання між тілами в прозорому і поглинаючому газових середовищах, а також комплексного процесу теплопередачі і основ розрахунку теплообмінних апаратів.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які студент набуде після вивчення дисципліни:

- ЗК3 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК6 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК9 Здатність приймати обґрунтовані рішення
- ФК1 Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, наукові і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

- ФК 2 Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін.
- ФК 4 Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі
- ФК 7 Здатність враховувати ширший міждисциплінарний інженерний контекст у професійній діяльності в сфері теплоенергетики.
- ФК 8 Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.
- ФК 13 Здатність аналізувати методи та засоби підвищення теплової економічності устаткування об'єктів промислової та муніципальної теплоенергетики; визначати шляхи модернізації теплової схеми з метою підвищення економічності та надійності роботи об'єктів промислової та муніципальної теплоенергетики.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

- ПРН 1 Знати і розуміти математику, фізику, хімію, екологію, економіку на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.
- ПРН 2 Знати і розуміти інженерні науки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки у сфері теплоенергетики.
- ПРН 3 Розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика».
- ПРН 5 Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.
- ПРН 9 Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.

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

Передумовою вивчення кредитного модуля є засвоєння знань з освітніх компонентів, що викладаються попередньо, а саме: «Вища математика», «Фізика», «Гідрогазодинаміка», «Технічна термодинаміка», «Інформаційні технології», «Інженерна та комп'ютерна графіка», «Технічна механіка». В свою чергу знання в області теорії тепломасообміну забезпечують повноцінне сприйняття та вивчення таких наступних професійно-орієнтованих дисциплін навчальних планів: «Теплотехнологічні процеси і установки», «Котельні установки», «Нагнітачі та теплові двигуни», «Теплофікація та теплові мережі», «Використання нетрадиційних джерел енергії», «Турбіни ТЕС та АЕС», «Спецпитання тепломасообміну», тощо. На результатах навчання з даного кредитного модуля базується виконання науково-дослідних робіт, інженерних і дипломних проєктів.

3. Зміст кредитного модуля

Розділ 13. ТЕПЛООБМІН ПРИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕННЯХ

13.1. Основні фізичні закономірності процесу конденсації

13.2. Теоретичний аналіз тепловіддачі при плівковій конденсації

- 13.3. Методика розрахунку тепловіддачі при плівковій конденсації
- 13.4. Вплив окремих факторів на тепловіддачу при конденсації пари
- 13.5. Загальні уявлення про процес кипіння
- 13.6. Внутрішні характеристики процесу бульбашкового кипіння
- 13.7. Вплив окремих факторів на тепловіддачу при кипінні у великому об'ємі
- 13.8. Розрахунок тепловіддачі при бульбашковому кипінні у великому об'ємі
- 13.9. Теплообмін при кипінні в умовах вимушеної течії в трубах

Розділ 14. ТЕПЛООБМІН ВИПРОМІНЮВАННЯМ

- 14.1. Загальна характеристика теплового випромінювання
- 14.2. Основні поняття та визначення
- 14.3. Основні закони теплового випромінювання
- 14.4. Коефіцієнти випромінювання і взаємні поверхні випромінювання
- 14.5. Теплообмін випромінюванням між двома тілами в прозорому середовищі
- 14.6. Теплообмін випромінюванням при наявності екранів
- 14.7. Теплообмін випромінюванням у поглинаючому середовищі. Складний теплообмін

Розділ 15. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

- 15.1. Загальна характеристика теплообмінних апаратів
- 15.2. Основи теплового розрахунку рекуперативних теплообмінників
- 15.3. Методика теплового розрахунку регенераторів
- 15.4. Основи гідравлічного розрахунку рекуперативних теплообмінних апаратів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Лабай В. Й. Тепломасообмін : Підручник для ВНЗ. – Львів: Тріада Плюс, 2004. – 260 с.
2. Погорєлов А.І. Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку): Навчальний посібник для вузів. 2-ге видання. – Львів: «Новий Світ-2000», 2004. – 144 с.
3. Чепурний М. М. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навчальний посібник / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 128 с.
4. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник. - Рівне: НУВГП, 2008.- 250 с
5. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов /С.И. Исаев и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 462 с.
6. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 562 с.
7. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен: Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2012. — 464 с.
8. Чередниченко В.С. Теплопередача: учеб пособие для вузов. В 2 ч. Ч.1: Основы теории теплопередачи / В.С.Чередниченко, В.А.Синицын, А.И Алиферов и др.; под ред. В.С.Чередниченко. – 2-е изд., перераб и дополн. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 232 с.
9. Чередниченко В.С. Теплопередача: учеб пособие для вузов. В 2 ч. Ч.2: Упражнения и задачи / В.С.Чередниченко, В.А.Синицын, А.И Алиферов и др.; под ред. В.С.Чередниченко, А.И Алиферова. – 2-е изд., перераб и дополн. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 379 с.
10. Курс лекций по дисциплине «Теплопередача» [Электронный ресурс] : электрон. курс лекций / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. унт); сост.: В. В. Бирюк, А. И. Довгялло, Д. А. Угланов. - Электрон. текстовые и граф. дан. (2,87 Мбайт). - Самара, 2013. – 175 с.
11. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов / В.В. Ягов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 542 с.

12. Солодов А.П. Элементарные модели теплообмена при конденсации: учебное пособие по курсам «Тепломассообмен» и «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании АЭС» / А.П.Солодов, Е.В.Ежов. – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 52 с.
13. Прибытков А.М. Теплообмен излучением: Учеб. пособие. М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 98с.
14. Шинкин В.Н. Теплообмен излучением: Конспект лекций. М.: Изд. Дом МИСиС, 2006. – 40 с.

Допоміжна література

15. Исаченко В.П и др. Теплопередача: Учебник для вузов / В.П.Исаченко, В.А.Осипова., А.С.Сукомел – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
16. Михеев М.А., Михеева И.М., Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
17. Краснощеков Е.А. и Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: “Энергия”, 1980. – 288 с., ил.
18. Жуховицкий Д.Л. Сборник задач по теплопередаче: Учебное пособие. – Изд. 2-е – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 83 с.
19. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 431 с.
20. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
21. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации – М.: Энергия, 1977. – 240с., ил.
22. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании: Учеб. пособие для втузов. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1986. – 448 с., ил.
23. Оцисик М.Н. Сложный теплообмен: Пер. с.англ. – М.: Мир, 1976. – 616с.
24. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. – Киев: Наук. думка, 1980,- 316 с.
25. Теплообмен при пленочной конденсации и пленочном кипении в элементах оборудования АЭС / И.И.Гогонин, И.А.Шемагин, В.М.Будов, А.Р.Дорохов; Под ред. В.Е.Накорякова. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 208 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування кредитного модуля

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Лекція 1 Умови виникнення конденсації пари. Плівкова та краплинна конденсація. Коефіцієнт конденсації. Термічний опір фазового переходу. Режимми стікання плівки конденсату по поверхні теплообміну. Число Рейнольдса для процесу плівкової конденсації, його фізичний зміст. Література: [1-3,11,12,15,16,21,25].
2	Лекція 2 Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній стінці. Теоретичний розрахунок тепловіддачі при плівковій конденсації на поверхні похилої плоскої стінки і горизонтальної одиночної трубки. Застосування теорії плівкової конденсації в інженерних розрахунках. Вплив сил інерції і конвективного переносу тепла в плівці, а також змінюваності фізичних параметрів конденсату і хвильового стікання плівки уздовж теплообмінної поверхні на процес тепловіддачі. Рівняння подібності для розрахунку тепловіддачі при ламінарному стіканні конденсатної плівки. Розрахунок середньої тепловіддачі при наявності на поверхні вертикальної трубки ламінарної і турбулентної плівки. Література: [1-3,11,12,15,16,21,25].

3	Лекція 3 Вплив перегріву, вологості пари, а також наявності в парі газів, що не конденсуються, на коефіцієнт тепловіддачі. Залежність тепловіддачі від швидкості та напрямку руху пари, розрахунок коефіцієнта тепловіддачі з урахуванням впливу цих факторів. Порівняння процесів тепловіддачі при плівковій конденсації пари на одиночних горизонтальній і вертикальній трубах, а також на таких же трубних пучках. Характер обтікання конденсатом горизонтальних пучків труб, зміна тепловіддачі по рядах, розрахунок тепловіддачі при конденсації пари на горизонтальних пучках труб. Тепловіддача при краплинній конденсації пари. Література: [1-3,11,12,15,16,21,25].
4	Лекція 4 Процеси пароутворення у формі випаровування і у формі кипіння, фізична суть цих процесів. Поверхневе і об'ємне кипіння рідини. Бульбашковий та плівковий режими кипіння та їх механізм. Перегрів рідини і наявність центрів пароутворення як умова виникнення парової фази; утворення бульбашок пари, їх форма в залежності від змочуючих властивостей рідини, крайовий кут (кут змочування). Умови виникнення плівкового кипіння. Кипіння насиченої рідини та кипіння з недогрівом. Розподіл температури в об'ємі киплячої рідини. Класифікація процесів кипіння залежно від гідродинамічних умов протікання процесу: кипіння у великому об'ємі в умовах природної конвекції рідини та кипіння в трубах при вимушеному русі рідини. Література: [1-3,11,15,16,22,24].
5	Лекція 5 Виникнення бульбашок пари на поверхні теплообміну. Критичний радіус парових зародків, аналітичний вираз для визначення його величини. Ріст і відривання бульбашок, відривний діаметр і частота відриву бульбашок. Швидкість збільшення бульбашок пари. Література: [1-3,11,15,16,22,24].
6	Лекція 6 Залежність коефіцієнта тепловіддачі і густини теплового потоку від температурного напору при кипінні у великому об'ємі. Перша і друга критичні густини теплового потоку. Вплив способу обігріву поверхні теплообміну. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від тиску, фізичних властивостей рідини, стану поверхні теплообміну і інших факторів при бульбашковому кипінні у великому об'ємі. Література: [1-3,11,15,16,22,24].
7	Лекція 7 Метод узагальнення дослідних даних по теплообміну при бульбашковому кипінні у великому об'ємі, основні ідеї методу, система чисел подібності. Узагальнені і розрахункові емпіричні формули для коефіцієнта тепловіддачі. Розрахунок першої критичної густини теплового потоку. Література: [1-3,11,15,16,22,24].
8	Лекція 8 Витратні і істинні параметри двофазного потоку. Режими течії і структура двофазних потоків при течії парорідинної суміші в вертикальних і горизонтальних трубах. Залежність тепловіддачі від швидкості циркуляції, об'ємного паровмісту і густини теплового потоку. Розрахунок тепловіддачі в трубах. Література: [1-3,11,15,16,22,24].

9	Лекція 9 Природа теплового випромінювання. Хвильові і корпускулярні властивості випромінювання. Класифікація випромінювання за довжиною хвилі. Спектр випромінювання. Рівноважне теплове випромінювання, умови виникнення променевого теплообміну. Особливості променевого теплообміну у порівнянні з теплопровідністю і конвекцією. Монохроматичне і інтегральне випромінювання. Променевий потік, густина потоку випромінювання, інтенсивність (яскравість) випромінювання. Спектральна та інтегральна поглинальна, відбивна і пропускна здатності тіла. Поняття «абсолютних» тіл. Види променивих потоків: власне, відбите і ефективне випромінювання; падаюче і поглинуте випромінювання; результуюче випромінювання; їх взаємний зв'язок. Література: [1-3, 13-16,19,20].
10	Лекція 10 Розподіл енергії у спектрі абсолютно чорного тіла: закон Планка, закон зміщення Віна. Сіре тіло, спектральний ступінь чорноти сірого тіла. Густина потоку інтегрального випромінювання абсолютно чорного тіла, закон Стефана-Больцмана. Застосування закону Стефана-Больцмана для сірих тіл, інтегральний ступінь чорноти сірого тіла. Закон Кірхгофа для монохроматичного і інтегрального випромінювання та його аналіз. Закон Ламберта. Література: [1-3, 13-16,19,20].
11	Лекція 11 Елементарний, локальний та середній коефіцієнти опромінення. Взаємна поверхня випромінювання двох тіл та її тлумачення. Геометричні властивості променивих потоків. Література: [1-3, 13-16,19,20].
12	Лекція 12 Методи визначення коефіцієнтів опромінення: аналітичний метод, метод поточної алгебри, графоаналітичний метод та метод світлового моделювання. Визначення коефіцієнтів опромінення в замкненій системі із трьох випуклих або плоских тіл та в випромінюючій системі, що складається із площини і однорядного трубного пучка. Література: [1-3, 13-16,19,20].
13	Лекція 13 Суть задачі теплообміну випромінюванням. Загальна характеристика методів розв'язання задач променевого теплообміну. Теплообмін випромінюванням в замкненій системі, що складається із двох сірих тіл: загальний випадок; тіла, коли поверхня одного тіла охоплюється поверхнею іншого тіла; тіла з плоско-паралельними поверхнями. Визначення теплового потоку випромінювання від даного тіла в навколишнє середовище. Література: [1-3, 13-16,19,20].
14	Лекція 14 Методи впливу на результуючий потік випромінювання, застосування екранів. Теплообмін випромінюванням в замкненій системі із двох сірих тіл і екранами між ними: тіла з плоско-паралельними поверхнями та тіла, із яких поверхня одного тіла охоплюється поверхнею іншого тіла. Література: [1-3, 13-16,19,20].

15	Лекція 15 Поглинання, розсіювання і випромінювання енергії в газових середовищах. Закон Бугера, коефіцієнт ослаблення променів. Випромінювання і поглинання різних середовищ; спектри поглинання багатоатомних газів, ступінь чорноти вуглекислоти, водяної пари та їх суміші. Поглинальна здатність газових середовищ, методика розрахунку власного випромінювання газів. Середня (ефективна) довжина пробігу променя і способи її визначення. Розрахунок променевого теплообміну між випромінюючим середовищем і поверхнею твердого тіла. Складний теплообмін як сукупність процесів тепловіддачі та випромінювання, що протікають одночасно. Умовний коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням. Література: Література: [1-3, 13-16,19,20,23].
16	Лекція 16 Призначення теплообмінних апаратів. Класифікація теплообмінників за принципом дії: рекуперативні, регенеративні і змішувальні; теплообмінники з виділенням теплоти за рахунок інших видів енергії. Основні схеми руху теплоносіїв в теплообмінниках: прямоточна, протиточна, перехресного току та комбіновані. Класифікація рекуперативних теплообмінників по роду теплоносіїв, по конструктивним особливостям теплообмінної поверхні та за ознакою зміни агрегатного стану теплоносіїв. Рівняння теплового балансу та теплопередачі. Загальна характеристика проектного і перевірного розрахунків рекуперативних теплообмінників. Література: [1-3,6,10,15,16].
17	Лекція 17 Середній температурний напір. Визначення середнього температурного напору для основних схем руху теплоносіїв. Порівняння прямотоку і протитоку. Розподіл температур теплоносіїв по поверхні прямотечійного і протитечійного рекуперативних теплообмінників та їх перевірочний тепловий розрахунок. Література: [1-3,6,10,15,16].
18	Лекція 18 Характер зміни температур робочих середовищ і насадки в період нагріву і охолодження. Температурний коефіцієнт, коефіцієнт акумуляції тепла. Квазістаціонарний періодичний режим роботи регенератора. Особливості в методиці теплового розрахунку регенеративних теплообмінників, коефіцієнт теплопередачі за цикл. Вираз для повного падіння тиску в теплообміннику. Втрати напору на подолання опору тертя, від місцевих опорів, на подолання самотяги та втрата напору, спричинена прискоренням потоку. Потужність, що необхідна для переміщення теплоносія. Література: [1-3,6,10,15,16].

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Практичне заняття 1 Тепловіддача при ламінарній течії рідини. В'язкісний і в'язкісно-гравітаційний ламінарні режими течії в трубах. Література: [9,17,18].
2	Практичне заняття 2 Формули для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі. Тепловіддача при турбулентній течії нестисливої рідини. Теоретичний аналіз тепловіддачі з використанням положень гідродинамічної теорії теплообміну, емпіричні рівняння подібності для розрахунку тепловіддачі в прямих і зігнутих трубах. Тепловіддача при перехідному режимі. Література: [9,17,18]

3	Практичне заняття 3 Еквівалентний діаметр каналу, його визначення для каналів прямокутного та кільцевого перерізу. Межі застосування методики розрахунку тепловіддачі з використанням еквівалентного діаметра каналу. Тепловіддача при поздовжньому омиванні пучка труб. Література: [9,17,18]
4	Практичне заняття 4 Основні фактори, що обумовлюють природну конвекцію. Розподіл температур і швидкостей в пограничному шарі. Характер руху рідини уздовж вертикальної пластини, зміна локальних значень коефіцієнта тепловіддачі по висоті пластини. Характер руху рідини поблизу горизонтальних труб і горизонтальних пластин. Аналітичне розв'язання задачі тепловіддачі для умов ламінарного руху рідини уздовж вертикальної пластини. Експериментальні дані для розрахунку тепловіддачі. Література: [9,17,18]
5	Практичне заняття 5 Характер руху рідини в плоских вертикальних і горизонтальних прошарках, а також у циліндричному горизонтальному прошарку. Методика розрахунку теплообміну при вільній конвекції рідини в обмеженому об'ємі. Література: [9,17,18]
6	Практичне заняття 6 Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній стінці. Теоретичний розрахунок тепловіддачі при плівковій конденсації на поверхні похилої плоскої стінки і горизонтальної одиночної трубки. Література: [9,17,18]
7	Практичне заняття 7 Застосування теорії плівкової конденсації в інженерних розрахунках. Вплив сил інерції і конвективного переносу тепла в плівці, а також змінюваності фізичних параметрів конденсату і хвильового стікання плівки уздовж теплообмінної поверхні на процес тепловіддачі. Рівняння подібності для розрахунку тепловіддачі при ламінарному стіканні конденсатної плівки. Розрахунок середньої тепловіддачі при наявності на поверхні вертикальної трубки ламінарної і турбулентної плівки. Література: [9,17,18]
8	Практичне заняття 8 Вплив перегріву, вологості пари, а також наявності в парі газів, що не конденсуються, на коефіцієнт тепловіддачі. Залежність тепловіддачі від швидкості та напрямку руху пари, розрахунок коефіцієнта тепловіддачі з урахуванням впливу цих факторів. Порівняння процесів тепловіддачі при плівковій конденсації пари на одиночних горизонтальній і вертикальній трубах, а також на таких же трубних пучках. Характер обтікання конденсатом горизонтальних пучків труб, зміна тепловіддачі по рядах, розрахунок тепловіддачі при конденсації пари на горизонтальних пучках труб. Тепло-віддача при краплинній конденсації пари. Література: [9,17,18]
9	Практичне заняття 9 Метод узагальнення дослідних даних по теплообміну при бульбашковому кипінні у великому об'ємі, основні ідеї методу, система чисел подібності. Узагальнені і розрахункові емпіричні формули для коефіцієнта тепловіддачі. Розрахунок першої критичної густини теплового потоку. Література: [9,17,18]

10	Практичне заняття 10 Витратні і істинні параметри двофазного потоку. Режими течії і структура двофазних потоків при течії парорідинної суміші в вертикальних і горизонтальних трубах. Залежність тепловіддачі від швидкості циркуляції, об'ємного паровмісту і густини теплового потоку. Розрахунок тепловіддачі в трубах. Література: [9,17,18]
11	Практичне заняття 11 Монохроматичне і інтегральне випромінювання. Променевий потік, густина потоку випромінювання, інтенсивність (яскравість) випромінювання. Спектральна та інтегральна поглинальна, відбивна і пропускна здатності тіла. Поняття "абсолютних" тіл. Види променевих потоків: власне, відбите і ефективне випромінювання; падаюче і поглинуте випромінювання; результуюче випромінювання; їх взаємний зв'язок. Розподіл енергії у спектрі абсолютно чорного тіла: закон Планка, закон зміщення Віна. Сіре тіло, спектральний ступінь чорноти сірого тіла. Густина потоку інтегрального випромінювання абсолютно чорного тіла, закон Стефана-Больцмана. Застосування закону Стефана-Больцмана для сірих тіл, інтегральний ступінь чорноти сірого тіла. Закон Кірхгофа для монохроматичного і інтегрального випромінювання та його аналіз. Закон Ламберта. Література[9,17,18]
12	Практичне заняття 12 Суть задачі теплообміну випромінюванням. Загальна характеристика методів розв'язання задач променевого теплообміну. Теплообмін випромінюванням в замкненій системі, що складається із двох сірих тіл: загальний випадок; тіла, коли поверхня одного тіла охоплюється поверхнею іншого тіла; тіла з плоско-паралельними поверхнями. Визначення теплового потоку випромінювання від даного тіла в навколишнє середовище. Література: [9,17,18]
13	Практичне заняття 13 Методи впливу на результуючий потік випромінювання, застосування екранів. Теплообмін випромінюванням в замкненій системі із двох сірих тіл і екранами між ними: тіла з плоско-паралельними поверхнями та тіла, із яких поверхня одного тіла охоплюється поверхнею іншого тіла. Література: [9,17,18]
14	Практичне заняття 14 Поглинання, розсіювання і випромінювання енергії в газових середовищах. Закон Бугера, коефіцієнт ослаблення променів. Випромінювання і поглинання різних середовищ; спектри поглинання багатоатомних газів, ступінь чорноти вуглекислоти, водяної пари та їх суміші. Поглинальна здатність газових середовищ, методика розрахунку власного випромінювання газів. Середня (ефективна) довжина пробігу променя і способи її визначення. Розрахунок променевого теплообміну між випромінюючим середовищем і поверхнею твердого тіла. Література: [9,17,18]
15	Практичне заняття 15 Складний теплообмін як сукупність процесів тепловіддачі та випромінювання, що протікають одночасно. Умовний коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням. Література: [9,17,18]
16	Практичне заняття 16 Середній температурний напір. Визначення середнього температурного напору для основних схем руху теплоносіїв. Порівняння прямотоку і протитоку. Література: [9,17,18]

17	Практичне заняття 17 Розподіл температур теплоносіїв по поверхні прямотечієного і протитечієного рекуперативних теплообмінників та їх перевірний тепловий розрахунок. Література: [9,17,18]
18	Практичне заняття 18 Приклад теплового розрахунку рекуперативного теплообмінника. Література: [9,17,18]

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Плівкова та краплинна конденсація. Література: [1-3,11,12,15,16,21,25].	3
2	Застосування теорії плівкової конденсації в інженерних розрахунках. Література: [1-3,6,8,13,14,19].	4
3	Порівняння процесів тепловіддачі при плівковій конденсації пари на одиночних горизонтальній і вертикальній трубах, а також на таких же трубних пучках. Література: [1-3,11,12,15,16,21,25].	3
4	Процеси пароутворення у формі випаровування і у формі кипіння, фізична суть цих процесів. Література: [1-3,11,15,16,22,24].	4
5	Критичний радіус парових зародків, аналітичний вираз для визначення його величини. Література: [1-3,11,15,16,22,24].	3
6	Залежність коефіцієнта тепловіддачі і густини теплового потоку від різних факторів при бульбашковому кипінні у великому об'ємі. Література: [1-3,11,15,16,22,24].	4
7	Узагальнені і розрахункові емпіричні формули для коефіцієнта тепловіддачі при кипінні. Література: [1-3,11,15,16,22,24].	3
8	Залежність тепловіддачі від швидкості циркуляції, об'ємного паровмісту і густини теплового потоку. Розрахунок тепловіддачі при кипінні в трубах. Література: [1-3,11,15,16,22,24].	4
9	Види променевих потоків: власне, відбите і ефективне випромінювання; падаюче і поглинуте випромінювання; результуюче випромінювання; їх взаємний зв'язок. Література: [1-3, 13-16,19,20].	3
10	Закон Ламберта. Література: [1-3, 13-16,19,20].	4
11	Геометричні властивості променевих потоків. Література: [1-3, 13-16,19,20].	3
12	Методи визначення коефіцієнтів опромінення: аналітичний метод, метод поточної алгебри, графоаналітичний метод та метод світлового моделювання. Література: [1-3, 13-16,19,20].	4
13	Суть задачі теплообміну випромінюванням. Загальна характеристика методів розв'язання задач променевого теплообміну. Література: [1-3, 13-16,19,20].	3
14	Методи впливу на результуючий потік випромінювання, застосування екранів. Література: [1-3, 13-16,19,20].	4

15	Складний теплообмін як сукупність процесів тепловіддачі та випромінювання, що протікають одночасно. Література: [1-3,6,8,13,14,18,20,23].	3
16	Призначення теплообмінних апаратів. Класифікація теплообмінників за принципом дії. Література: [1-3,6,10,15,16].	4
17	Порівняння прямого та протічного. Література: [1-3,6,10,15,16].	3
18	Особливості в методиці теплового розрахунку регенеративних теплообмінників, коефіцієнт теплопередачі за цикл. Література: [1-3,6,10,15,16].	4
	Підготовка до підсумкового контролю засвоєння кредитного модулю	30
	<u>Всього</u>	93

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- на заняттях дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку інформації та виконання індивідуальних завдань;
- захист практичних завдань відбувається на практичному занятті у виділений для цього викладачем час;
- штрафні та заохочувальні бали:
 - відсутність на практичному занятті або лекції без поважної причини - мінус 2 бали;
 - участь в олімпіаді з дисципліни, розробка ситуаційних вправ, тестових завдань та задач з дисципліни, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 5 до 10 заохочувальних балів.

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання завдань СРС;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) три відповіді в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 18 осіб і вісімнадцяти лекційних заняттях (36 годин) отримуємо: $3 \cdot 18 / 18 \approx 3$ відповіді;
- 2) три відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 18 осіб і вісімнадцяти практичних заняттях (36 годин) отримуємо: $3 \cdot 18 / 18 \approx 3$ відповіді;
- 3) виконання завдань СРС;
- 4) виконання однієї МКР;
- 5) відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал — 4. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 4 \text{ бал} \times 3 = 12$ балів.

Критерії оцінювання:

4 бали — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **2-3 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **0-1 бал** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_2 = 6 \text{ балів} \times 3 = 18$ балів.

Критерії оцінювання:

2 бали — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **1 бал** — відповідь має несуттєві похибки; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

3. Виконання завдань СРС

Ваговий бал – 1. Максимальна кількість балів студента 18 (видається вісімнадцять завдань на СРС, строк задачі завдання – не пізніше ніж через два тижні після видачі): $r_4 = 1 \text{ бал} \times 18 = 18$ балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; **0,5 балів** – не в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; **0 балів** – невчасно надана відповідь або ненадана відповідь.

Штрафні бали:

– несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) – **-1 бал**.

Заохочувальні бали

– участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах – **5 балів**.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини – 6. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4 = 6 \times 2 = 12$ балів.

Критерії оцінювання:

6 балів – повна вірна відповідь на завдання; **4-5 балів** – відповідь має несуттєві похибки; **2-3 бали** – неповна відповідь; **0-1 бали** – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі. Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань і задачі. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Два теоретичних питання оцінюються по 10 балів, а задача – 20 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання $10+10+20 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **9...10 (18...20) балів**;

достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **7...8 (14...17) балів**;

неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – **5...6 (11...13) балів**;

незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – **менше 5 (10) балів**.

Штрафні бали:

додаткове питання з тем лекційного курсу отримують аспіранти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 3 бали.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

де R_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 12 + 18 + 18 + 12 = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше $0,4 \times R_c = 24$ балів.

Аспіранти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 24 бали, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R — оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i — сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c — максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D — бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент., к.т.н., доцент Фуртат Ірина Едуардівна

Ухвалено кафедрою теоретичної і промислової теплотехніки (протокол № 16 від 23.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією теплоенергетичного факультету (протокол № 11 від 24.06.2021р.)